Aus der Abteilung für Zahnärztliche Chirurgie und Parodontologie
Ärztlicher Direktor: Professor Dr. W. Schulte
des Zentrums für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde
der Universität Tübingen

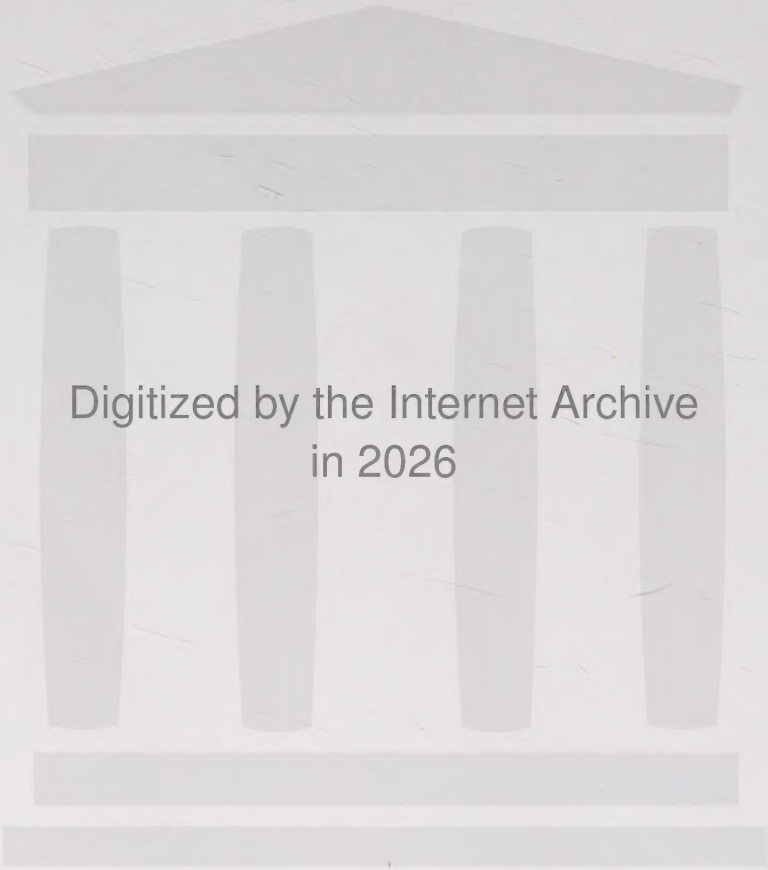
Der Einfluß parodontaler Durchblutung auf die taktile Sensibilität oberer Schneidezähne

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades
der Zahnheilkunde
der Medizinischen Fakultät
(Klinische Medizin)
der Eberhard-Karls-Universität
Tübingen

vorgelegt von
Richard Cremer
aus Bonn

1984

UNIV.
LEIDEN
KBL.


Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41547612_0040

Aus der Abteilung für Zahnärztliche Chirurgie und Parodontologie
Ärztlicher Direktor: Professor Dr. W. Schulte
des Zentrums für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde
der Universität Tübingen

Der Einfluß parodontaler Durchblutung auf die taktile Sensibilität oberer Schneidezähne

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades
der Zahnheilkunde
der Medizinischen Fakultät
(Klinische Medizin)
der Eberhard-Karls-Universität
Tübingen

vorgelegt von
Richard Cremer
aus Bonn

1984

Dekan:	Professor Dr. D. Plester
1. Berichterstatter:	Professor Dr. W. Schulte
2. Berichterstatter:	Professor Dr. E. Körber

REFO-DRUCK HANS VOGLER TÜBINGEN

Meinen Eltern

An dieser Stelle möchte ich Herrn Prof. Dr. W. Schulte für die Überlassung des Themas sowie Herrn Dipl.-Physiker D. Lukas und Herrn Dr. L. Mühlbradt für die freundliche Unterstützung recht herzlich danken.

INHALTSVERZEICHNIS

Seite

I. EINLEITUNG UND PROBLEMSTELLUNG 1

II. LITERATURÜBERSICHT 3

1. Angioarchitektur und Innervation des Desmodonts 3

2. Die parodontalen Mechanorezeptoren 6

3. Überblick über die psychophysikalischen Untersuchungen der taktilen Sensibilität der Zähne 7

4. Die gefäßaktiven Eigenschaften von Adrenalin, Octapressin, POR-8 und Nikotin 9

III. MATERIAL UND METHODE 14

1. Die Messung der taktilen Schwelle 14

1.1 Der federgefesselte Drehschwinger 15

1.2 Die Elektronik 17

1.3 Fehlerbetrachtung der elektrischen Meßanordnung 19

2. Versuchsplanung und Durchführung der Messungen 20

3. Statistische Auswertung 24

IV. UNTERSUCHUNGSERGEBNISSE

1. Verhalten der Taktilitätsschwellen nach durchblutungsverändernden Maßnahmen 26

1.1 Lokalinjektion von Adrenalin 26

1.2 Lokalinjektion von Octapressin 28

1.3 Lokalinjektion von POR-8 30

1.4 Zusammenfassung der Untersuchungsergebnisse der 3 vasoaktiven Substanzen nach relativen Häufigkeiten 31

Seite

1.5 Einfluß der Mikrowellenbestrahlung auf das Verhalten der Taktilitätsschwellen 33

1.6 Verhalten der Taktilitätsschwellen unter Nikotineinwirkung 35

2. Lokalinjektion von physiologischer Kochsalzlösung 45

3. Einfluß des Wiederholungseffektes auf das Niveau der Taktilitätsschwellen 46

4. Tabellarische Zusammenfassung der absoluten und relativen Häufigkeiten signifikanter und nichtsignifikanter Tastschwellenänderungen unter Einwirkung von physiologischer Kochsalzlösung, Mikrowellenbestrahlung, Nikotin sowie als Folge des Wiederholungseffektes 50

5. Vergleich der an verschiedenen Meßtagen ermittelten nichtbeeinflußten Taktilitätsschwellen 51

V. DISKUSSION 64

VI. ZUSAMMENFASSUNG 77

VII. LITERATURVERZEICHNIS 80

I. EINLEITUNG UND PROBLEMSTELLUNG

Die Regenerationskraft wie überhaupt die ganze Funktion eines Organs hängt entscheidend von dessen Durchblutung ab. Die Intensität des Blutdurchflusses unterliegt wiederum allgemeinen Faktoren wie Herzleistung, Vaskularisation, Gefäßkapazität und der jeweiligen physiologischen Beanspruchung, sie kann aber auch iatrogen auf pharmakologisch-physikalischem Weg beeinflußt werden.

Im Rahmen der Erforschung der neurophysiologischen Grundlagen des Kauorgans kommt der Art und Wirkungsweise der Mechanorezeptoren im Desmodont große Bedeutung zu.

So kann z.B. eine chronische Überlastung der Zähne bei ausbleibender Kompensation eine Ischämie und Druckatrophie im Bereich des Zahnhalteapparates bewirken. Die Folgen sind Zahnlockerung und Freilegung der Zahnhälse als Hauptsymptome für die nicht entzündliche Parodontose.

Neuere neurophysiologische und histologische Untersuchungen (15) deuten darauf hin, daß eine enge gewebliche Verflechtung von parodontalen Gefäßen und Nervenendigungen besteht.

Die pulssynchrone Spontanaktivität einiger Sensoren ist ein unmittelbarer Ausdruck hierfür (16). Andere pulsasynchron feuernde Sensoren sollen durch langfristig sich ändernde Spannungszustände innerhalb des Parodontiums zur spontanen Aktivität angeregt werden.

Auch ist denkbar, daß entzündliche Prozesse im Bereich des Zahnhalteapparates durch das sich bildende interstitielle Ödem die Erregbarkeit des Pressosensoren infolge einer Erhöhung des desmodontalen Binnendruckes beeinflussen.

Parafunktionelle Kräfte, die den Zahn in die Alveole pressen, könnten ebenfalls mittelbar über die Intrusionsbewegung und mithin Kompression der Gefäße Einfluß nehmen auf die

parodontale Tastsensibilität.

Zur Überprüfung dieses möglichen Zusammenhangs zwischen Füllungszustand der Gefäße und Verhalten der dentalen Mechanorezeptoren haben wir die dentale Mechanoperzeption in Gegenwart von vasoaktiven Pharmaka bzw. Agentien untersucht.

II. LITERATURÜBERSICHT

1. Angioarchitektur und Innervation des Desmonts

Desmodont, Papille und marginale Gingiva werden im Oberkiefer von der A. infraorbitalis bzw. ihren Abzweigungen, den Rami alveolares superiores,versorgt, im Unterkiefer von der A. alveolaris inferior (20). Die Endaufzweigungen des parodontalen Gefäßsystems bestehen aus Kapillarschlingen und Knäueln, die zuerst von WEDL und danach von SCHWEITZER beschrieben wurden (26). FRÖHLICH (10) unterscheidet parodontale und gingivale Endstrombahngebiete, die sich auch plethysmographisch voneinander unterscheiden. So konnte HOFMANN (20) nachweisen, daß es sich beim Parodontalpuls um einen zentralen, arteriellen Volumenpuls handelt, bei der marginalen Mikrozirkulation um einen peripheren Endpuls.

Die Gefäßversorgung des Desmodonts hat drei Ursprünge: Eine apikale, gingivale und alveoläre Gefäßzufuhr, wobei letztere den größten Anteil an der Blutversorgung hat.

Entsprechend den histologischen Untersuchungen von WEDL (51), SCHUMACHER (44) u.a. ist das Desmodont von sog. Vaskularisationsetagen durchsetzt, die zirkulär um den Zahn laufen (hierzu auch Abb. 1).

Der venöse Abfluß erfolgt im wesentlichen über Venolen, die die Innenkorticalis perforieren und die in Verbindung stehen mit den Gängen des HAVERSschen Systems und der alveolären Spongiosa.

Über diese Gefäße vermag das Blut auszuweichen, wenn die aufsteigenden desmodontalen Gefäße unter dem Kaudruck komprimiert werden.

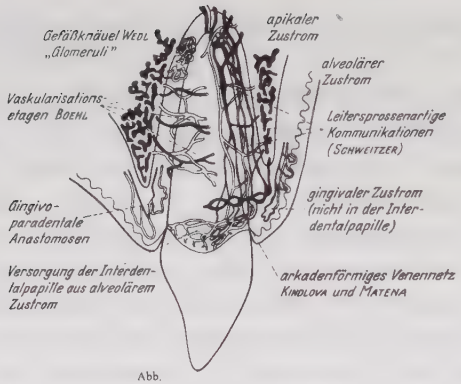


Abb. 1: Die parodontale Gefäßarchitektur in schematischer Darstellung (aus K.-H. Körber, Zur Physiologie des parodontalen Gefäßsystems 1963)

Bei Kippdrehungen des Zahnes vermag das Blut durch das anastomosierende Kapillarsystem aus den Zonen erhöhten Druckes auf die Zugseite auszuweichen. Dieser vaskuläre Zirkulationsmechanismus aus extraalveolären und intraalveolären desmodontalen Gebieten ist für die dynamische Eigenschaft der hydrostatischen Dämpfung des Parodontiums verantwortlich (26).

Die hydrostatische Dämpfung bzw. die kapilläre Pufferwirkung läßt sich durch eine lokal verursachte Vasokonstriktion beeinflussen. So konnte KÖRBER (26) nachweisen, daß durch Applikation eines Anästhetikums mit einem gefäßverengenden Zusatz der Zahn wesentlich ungedämpfter schwingt. Auch die Rückstellgeschwindigkeit nach Entlastung wird grösser.

HOFMANN (19) und KÖRBER, K.-H. (26) konnten anhand plethysmographischer bzw. oszillographischer Untersuchungen über die pulssynchrone Eigenbeweglichkeit der Zähne nachweisen, daß das parodontale Gefäßsystem darüberhinaus funktionell ausgerichtet ist.

So führt der Oberkieferfrontzahn hauptsächlich eine pulssynchrone Pendelbewegung in oral-vestibulärer Richtung aus, während die axiale Pulsationsbewegung vergleichsweise minimal bzw. häufig nicht nachweisbar ist (26). Das Rotationszentrum liegt nach den Angaben von HOFMANN (19, 21) und KÖRBER (27) zwischen Wurzelmitte und apicalem Wurzeldrittel, wobei allerdings seine Lage nicht konstant ist, sondern vom Angriffspunkt der Kraft abhängt.

Diese Pendelbewegung ist nur bei ungleichmäßiger Verteilung der desmodontalen Gefäße möglich, die FRÖHLICH (10) histologisch in Form einer diagonalen Gefäßanordnung verifizieren konnte: In Zonen vermehrter Zugbeanspruchung sind weniger Gefäße anzutreffen, in Zonen verstärkter Druckbelastung sind dagegen die Gefäße zahlreicher.

HOFMANN (19) führt aus, daß selbst bei einer geringfügigen Kreislaufbelastung (10 Kniebeugen) der Parodontalpuls hinsichtlich Frequenz und Volumenamplitude deutlich reagierte.

Die Innervation des Alveolarfortsatzes, der Gingiva, des Desmodonts wie auch der Pulpa erfolgt durch Nervenfasern des N. maxillaris bzw. des N. alveolaris inf., wobei Faserzüge in den interradikulären Alveolarfortsatzbezirken koronalwärts laufen und die Gingiva propria innervieren. Andere Faserzüge erreichen den Desmodontalraum am apicalen Ende. Von dort treten Fasern in den Pulpenkanal durch die Foramina des apikalen Deltas ein, andere verlaufen koronalwärts, parallel zur Wurzeloberfläche meist in der äußeren Zone des Desmodontalspalts. Diese längsverlaufenden Fasern werden in Intervallen von anderen Fasern verstärkt, die von

Nervenfasern aus dem Alveolarfortsatz stammen und die die Innenkortikalis perforieren. Letztere geben Nervenäste ab, die apikalwärts ziehen. Im Bereich des Limbus alveolaris vereinigen sich die aus dem Desmodontalraum längs verlaufenden Nervenfasern mit jenen aus dem Alveolarfortsatz wie auch jenen aus dem Periost. Die Innervation der Gingiva erfolgt durch diese drei Versorgungswege (48).

2. Die parodontalen Mechanorezeptoren

Entsprechend den elektrophysiologischen Versuchen von HANNAM (16) unterscheiden sich die Mechanorezeptoren hinsichtlich ihrer Entladungscharakteristik und ihres Erregungsmusters.

Einige weisen eine geringe Adaptationstendenz auf, d.h. auch bei lang einwirkender Kraft bleibt die Entladungsfrequenz nahezu konstant. Andere wiederum adaptieren schnell. Die langsam adaptierenden Einheiten haben eine höhere Reizschwelle als die schnell adaptierenden.

Zwei Varianten werden von den langsam adaptierenden Rezeptoren beschrieben: Die sehr langsam adaptierenden und die spontanaktiven Einheiten. Letztere zeigen eine pulssynchrone Entladungscharakteristik, andere wieder eine von der Herztätigkeit unabhängige Spontanaktivität.

GRIFFIN und SPAIN (15) unterscheiden einfache (Typ I) von zusammengesetzten (Typ II) Mechanorezeptorkomplexen. Bei Typ II dringt eine Metarteriole direkt in die Rezeptorkapsel. Sie vermuten, daß die langsam adaptierenden Pressosensoren histologisch den zusammengesetzten und die schnell adaptierenden den einfachen Mechanorezeptorkomplexen entsprechen.

HANNAM (16) stellt fest, daß einige normalerweise stumme Rezeptoren durch Belastung des Zahnes spontanaktiv werden können und im Anschluß daran sich genau gleich verhalten wie andere spontanaktive Einheiten.

3. Überblick über die psychophysikalischen Untersuchungen der taktilen Sensibilität der Zähne

Die Leistungsfähigkeit sensorischer Systeme wird in der Psychophysik mit Hilfe des Begriffs der Reizschwelle beschrieben.

Unter der Reizschwelle wird diejenige Mindestintensität verstanden, die ein Reiz besitzen muß, damit eine Sinnesempfindung ausgelöst wird.

Derartige Reizschwellenmessungen werden auch bei Zähnen durchgeführt.

TÜRKHEIM (50) war nach Aussage GNEUPELS (12) der erste, der Schwellenwerte für das Auftreten von Berührungsempfindungen an Zähnen ermittelte.

MÜNCH und SCHRIEVER (34) sowie GNEUPEL (12) bestimmten Druckschwellen mittels v. Frey'schen Reizhaaren. Sie kamen zu dem Ergebnis, daß die Berührschwellenwerte von den Incisivi zu den Molaren hin ansteigen. Dies wird von ADLER (2) bestätigt, der mit einem Gnathodynamometer für axiale Druckapplikation arbeitete. Er stellte bei männlichen, sowie bei älteren Personen höhere Schwellen fest, räumt aber ein, daß die Empfindungen schwer beschreibbar seien, eine große Variabilität aufwiesen und demzufolge Vergleiche nur für jede Versuchsperson einzeln möglich seien.

SCHNELL (41) untersuchte mittels des Dickenunterscheidungsvermögens die Taktilität der Zähne zu verschiedenen Tageszeiten.

"Es zeigte sich, daß sie in den späten Nachmittagsstunden signifikant am höchsten und in der Mittagszeit am niedrigsten ist, vorausgesetzt, daß es sich um einen normalen Arbeitstag handelte." - "Da wir annehmen, daß die Schwankungen der Zahntaktilität im Zusammenhang mit der unterschiedlichen Durchblutung der Parodontien steht, haben wir mit einer indirekten Methode die Durchsaftung der Parodontien erfaßt. So zeigte es sich, daß die Zähne morgens eine andere Beweglichkeit aufwiesen als abends."

JENZ und MÜHLBRADT (23) stellten fest, daß die Schwellenerregung der Oberkieferfrontzähne in einem "sensorischen Intervall" erfolgt, an dessen Beginn das "1. Signal" stehe entsprechend einer "unbestimmten, nicht näher definierbaren Empfindung", welche beim "2. Signal" in eine "deutliche Berührempfindung" übergehe.

Ihre Untersuchungsergebnisse weisen darauf hin, daß die Funktion der parodontalen Mechanorezeptoren durch die biophysikalischen Eigenschaften des Parodontiums beeinflußt wird.

Auch die Beobachtung, daß der Anstieg der Berührschwelle direkt mit der Kraftanstiegsgeschwindigkeit korreliert ist, wird durch die hydrodynamischen Eigenschaften erklärt. Sie verweisen auf das Prinzip der hydraulischen Dämpfung.

MÜHLBRADT (33) konnte eine Abnahme der Berührempfindlichkeit mit zunehmender Reduktion des Zahnhalteapparates im Verlauf der chron. progr. marg. Parodontitis nachweisen.

HERHOLZ (17) vergleicht die taktile Sensibilität oberer marktoter, wurzelspitzenamputierter mit derjenigen vitaler Frontzähne. Er bestätigt den zweistufigen Charakter der taktilen Schwelle und unterscheidet die "unspezifische Empfindung (Schwelle 1)" vom "eindeutigen Druckgefühl (Schwelle 2)".

ACKERMANN (1) konnte bei seinen Untersuchungen beobachten, daß das parodontale Empfindungsvermögen in Gegenwart eines zweiten Kraftreizes, der auf den Nachbarzahn einwirkt, verändert wird.

4. Die gefäßaktiven Eigenschaften von Adrenalin, Octapressin, POR-8 und Nikotin

Die als Vasokonstriktoren allgemein verwendeten Katecholamine - Adrenalin sowie Noradrenalin - bewirken eine rasch einsetzende Vasokonstriktion mit einer kurzen Latenzzeit bis zum Wirkungseintritt, die mit ca. 2 Minuten bei einer Konzentration von 1 : 100.000 (LINDORF 29) angegeben wird. Diese Eigenschaft benutzt man bei chirurgischen Eingriffen zur Erzeugung einer regionären Hämostase.

Die allgemein übliche Konzentration der Adrenalin-Lösung in der Zahnheilkunde beträgt 1 : 80.000, 1 : 100.000 bzw. 1 : 200.000.

Da das Adrenalin nur in saurer Lösung stabil ist, sind die Lösungen auf einen pH-Wert von 2,4 - 4,5 eingestellt. Diese Ansäuerung ist zugleich verantwortlich für den brennenden Initialschmerz bei der Injektion (39).

Infolge der durch die Vasokonstriktion und Minderdurchblutung bedingten Hypoxie entsteht eine metabolische Acidose der Gewebe, die nach Abklingen der vasokonstriktorischen Wirkung einsetzt und eine reaktive Hyperämie als Folge der sekundären Vasodilatation bewirkt. Diese setzt nach 120 - 150 Minuten ein (29).

Nachteilig ist ebenfalls seine sympathikomimetische Wirkung in Form einer Erregung der alpha- und beta-Rezeptoren mit all seinen Folgeerscheinungen.

Als Alternative für die Nebennierenrindenhormone, deren Verwendung BRAUN (6) erstmals als Zusatzmittel für Anästhetika vorgeschlagen hat, wurden in den 60-ziger Jahren synthetische Peptide vom neurohypophysären Typus entwickelt (5), die eine pressorische Wirkung direkt auf die kontraktilen Bestandteile der Gefäße der terminalen Strombahn entfalten, ohne allerdings deren zentrale kreislaufbelastende Effekte zu besitzen (42, 32). Hervorzuheben ist auch das Fehlen einer reaktiven Hyperämie nach Abklingen der Vasokonstriktion, d.h. neben ihrer kardiovaskulären Indifferenz verhalten sie sich metabolisch neutral (29).

Es handelt sich um das 2 Phenylalanin-8-lysin-Vasopressin = Octapressin und das 2-Phenylalanin-8-Ornithin-Vasopressin = POR-8 (Sandoz).

Die Latenzzeit bis zur Vasokonstriktion wird bei POR-8 mit 2 - 15 Minuten bei einer durchschnittlich Dosis von 0,1 IE/ml und einer durchschnittlichen Verbrauchsmenge zwischen 20 und 100 ml angegeben (42). Sie ist jedoch gegenüber Adrenalin verlängert (29).

SCHOTTKE et al. (42) konnten ebenfalls aus Gewebeclearance-Untersuchungen mit Hilfe des Edelgasisotops Xenon-133 feststellen, daß die Durchblutungs- bzw. Resorptionsverhältnisse im Bereich der ginigivalen Umschlagfalte bei POR-8 und Adrenalin einander entsprechen.

Wegen des größeren Molekulargewichtes von Vasopressin mit 1024 g/mol ist das Diffusionsvermögen im Gewebe kleiner als von Adrenalin mit 188 g/mol.

So konnte mittels Infrarotthermographie nachgewiesen werden, daß bei einer Injektion von 1 ml POR-8 0,2 IE/ml in die Umschlagfalte vom rechten oberen Eckzahn eine Vasokonstriktion eintritt, die weite Teile der Wange und der rechten Oberlippe erfaßt. Die Zone der stärksten Abkühlung

infolge der Vasokonstriktion ist bei POR-8 und Adrenalin bei Injektion von 1 ml, 1 : 100.000 annähernd gleich groß und beträgt kutan 4 cm^2 (29).

OLGART (36) untersuchte 1975 die Wirkung von Adrenalin und Octapressin allein und in Kombination mit Anästhetika auf Funktionen der Pulpa bei der Katze.

Er konnte nachweisen, daß 0,5 ml einer Adrenalinlösung in einer Konzentration von 1 : 80.000 apikal am Eckzahn injiziert allein wie auch in Verbindung mit Lidocain den intrapulpären Kreislauf, sowie die sensorische Aktivität lähmt.

Dabei wurde die intradentale Erregung sensorischer Nerven mit Hilfe von Elektroden gemessen, die in Dentinkavitäten befestigt waren. Änderungen der Durchblutung der Pulpa wurden auf dem Weg der Eliminationsrate radioaktiver Substanzen bestimmt, die ebenfalls in Dentinkavitäten eingebracht wurden.

Die Erregung der intradentalen Nerven erfolgte mit Hilfe von Akonitin.

Ohne Einfluß auf den Kreislauf und die nervale Erregbarkeit der Pulpa blieben Injektionen von Lidocain und Prilocain allein, wie auch von Octapressin (0.54 g/mol) allein.

In Übereinstimmung mit EDWALL und SCOTT (9) führt er die Hemmung der nervösen Erregbarkeit der Pulpa auf die Adrenalin-induzierte Konstriktion der proximal vom Zahn gelegenen Arteriolen zurück.

Die fehlende Wirkung von Octapressin hängt nach Angaben von CERLETTI (7) und ALTURA et al. (4) mit der unterschiedlichen Wirkungsweise von Adrenalin und Octapressin zusammen.

Die Katecholamine konstringieren nach ihren Angaben die präkapillären Widerstandsgefäße ebenso wie die postkapillären

Kapazitätsgefäße, während Octapressin lediglich einen starken Effekt auf die postkapillären Gefäße ausübe.

Zur kardiovaskulären Wirkung des Nikotins existieren zahlreiche Untersuchungen.

Als zentrale Effekte werden Tachykardie und Hypertonie, als periphere Effekte Vaoskonstriktion (namentlich von Fingern und Zehen), aber auch Vasodilatation genannt (52).

FUREY (11) vergleicht die Auswirkungen von Tabak und nikotinfreien Salatblattzigaretten auf die periphere Blutzirkulation und stellt fest: Die Pulsfrequenz wie auch der Blutdruck steigen beim Rauchen von Tabak- als auch von Salatblattzigaretten signifikant bzw. hochsignifikant an.

Die Hauttemperatur der Stirn, über dem Brustbein und den großen Zehen änderte sich nicht, während sie an den Mittelfingern um 4.5° C (Tabak) bzw. 3.5° C (Salatblatt) fiel.

AGUE (3) stellt in Übereinstimmung mit ROTTENSTEIN et al. (38) und COFFMAN und JAVET (8) durch plethysmographische Untersuchungen am Unterarm fest: Die Muskeldurchblutung wird beim Rauchen signifikant dosisabhängig erhöht durch sympathikomimetische Stimulation, d.h. durch Adrenalinausschüttung. Dieser Effekt nimmt nach Gewöhnung ab, ist jedoch auch bei starken Rauchern noch durch forcierte Inhalation provozierbar. Adrenalin als sympathischer Transmitter stellt die Koronar- und Muskelgefäße weit, verengt aber die peripheren Gefäße.

Der Versuch, periphere Vasokonstriktion durch Hauttemperaturmessungen nachzuweisen, erbrauchte keine Signifikanzen. Die Hauttemperatur unterliege zu vielen Einflüssen und sei daher als pharmakologischer Indikator kaum brauchbar.

ROTH et al. (37) sowie HINES et al. (18) weisen auf eine direkte Abhängigkeit der Endangitis obliterans vom Tabakkonsum hin.

Auch konnte eine nikotinbedingte Konstriktion von Hautgefäßen nachgewiesen werden (37).

WHELAN (52) konnte durch intraarterielle Injektion von Nikotin in die Arteria brachialis beim Menschen eine Vasodilataion als direkte Gefäßwirkung herbeiführen und räumt dieser Beobachtung Allgemeingültigkeit ein. Blutdruckerhöhung und periphere Vasokonstriktion hält er für zentralnervöse Reaktionen, die unter außergewöhnlichen Umständen auftreten. Als solche bezeichnet er die von ROTH zugrundegelegte Inhalation nach jeweils 15 Sekunden und das Rauchen zweier Zigaretten innerhalb 12 bis 15 Minuten. SHEPHERD (45) zeigte, daß der Normalraucher alle 66 Sekunden inhaliere und eine Zigarette 10 Minuten "dauere". Unter diesen Bedingungen ist nach WHELAN eine Vasokonstriktion nicht nachweisbar.

MARTZ (31) untersuchte die Wirkung von Nikotin auf die Mikrozirkulation bei nicht betäubten Fledermäusen. Er stellte fest, daß Arteriolen und Venolen bei bestehender sympathischer Innervation sich erweitern, während bei fehlender sympathischer Innervation die Arteriolen sich für 3 - 4 Minuten, die Venolen sich bis zum Versuchsende also mindestens 50 Minuten konstringieren.

Er schließt daraus, daß Nikotin per direkter Wirkung die peripheren Gefäße konstringiert, über das sympathische Nervensystem hingegen dilatierend wirkt.

Abgesehen von degenerativen Gefäßerkrankungen und hyperkeratotischen Veränderungen der Mundschleimhaut, welche als Folge chronischen Nikotinabusus nachgewiesen werden, finden sich keine übereinstimmenden Hinweise für eine lokale, gefäßaktive Wirkung des Nikotins im Bereich der Mundhöhle.

III. MATERIAL UND METHODE

1. Die Messung der taktilen Schwelle

Für die quantitative Beurteilung der taktilen Sensibilität der Zähne werden in der Literatur verschiedene Meßmethoden angegeben:

- Man legt Körper (z.B. Platin-, Stahldraht, Perlonfaden; Silber-, Aluminium-, Zinnfolie) zwischen okkludierende Zahnflächen und ermittelt, wie dünn diese sein können, um noch wahrgenommen zu werden (49, 22, 28, 46).

- Zähne werden mit meßbaren, zunächst unterschwelligen Kräften belastet und das erste Auftreten einer Empfindung bestimmt. Hierzu kamen von Frey'sche Reizhaare (34, 47) für horizontale, der Gnathodynamometer (2) für horizontale und axiale und der Federästhesiometer (30) für axiale Zahnbelastungen zur Anwendung.

Die genannten Methoden sind in ihrer Mechanik mit Fehlerquellen behaftet, da sie nur Kraftimpulse mit zufälligem Verlauf erzeugen.

Für eine exakte Bestimmung der taktilen Schwelle sind aber folgende Bedingungen zu stellen:

- Die Messung soll hinlänglich genau sein: Der objektive Fehler darf den subjektiven nicht überschreiten.

- Die Messung soll elektronisch erfolgen: Damit ist der Meßfühler räumlich vom Meßgerät zu trennen und kann klein gehalten werden.

- Der Kraftanstieg soll reproduzierbar und ständig graphisch zu überwachen sein: Damit sind exakte Vergleichsmessungen möglich.

- Der Meßfühler soll prellfrei auf die incisale Zahnkante gesetzt werden können sowie physiologische Bewegungen des Kopfes (durch Pulsschlag und Atmung) beim Meßvorgang ausgleichen.

- Die Geschwindigkeit des Kraftanstiegs soll gleichmäßig sowie frei wählbar sein.

Die Idee und das erste Modell einer solchen Meßanordnung stammen von MÜHLBRADT. In Zusammenarbeit mit Herrn Dipl. phys. D. LUKAS und Herrn JENZ entwickelte er sein Gerät weiter. Die Vorrichtung ist eine Verbindung eines elektronischen Kraftfühlers und eines federgefesselten Drehschwingers (siehe Abb. 2).

1.1 Der federgefesselte Drehschwinger

Ein Meßarm, der durch eine Feder in waagerechter Position gehalten wird, ist kugelgelagert am oberen Ende eines Stativs befestigt. An seinem freien Ende ist der Kraftfühler aufgesteckt. Da die Federkräfte wesentlich größer als die Reibungskräfte im Kugellager sind und der Meßarm beim Meßvorgang trägheitsfrei den physiologischen Bewegungen des Zahnes folgen kann, wird diese Anordnung federgefesselter, einarmiger Drehschwinger genannt. Durch den Stativtrieb wird der Meßarm gehoben, bis der Kraftaufnehmer dem Zahn aufsitzt. Wegen der geringen Rückstellkraft des Drehschwingers wird ein Kraftstoß im Augenblick des Aufsetzens vermieden. Bei kleineren Bewegungen des Zahnes weicht der Drehschwinger aus, ohne die Aufsetzkraft nennenswert zu vergrößern. Der Meßarm wird mittels eines Fadens durch einen unabhängig gelagerten Getriebemotor nach oben gezogen. Dadurch wird der Zahn axial, zunehmend belastet. Zwischen Faden und Meßarm ist noch eine Feder gespannt, um den Anlaufruck des Motors zu dämpfen. Infolge der konstanten Drehfrequenz des Motors ist auch der Kraftzuwachs am Zahn in der Zeiteinheit konstant. Der Motor wird durch

eine einstellbare Gleichspannung gespeist. Der Kraftzuwachs läßt sich durch Änderung der Drehfrequenz des Motors regulieren, d.h. durch Änderung der ànliegenden Spannung.

Die Kraftanstiegsgeschwindigkeit beträgt bei den vorliegenden Messungen 2 mN/s.

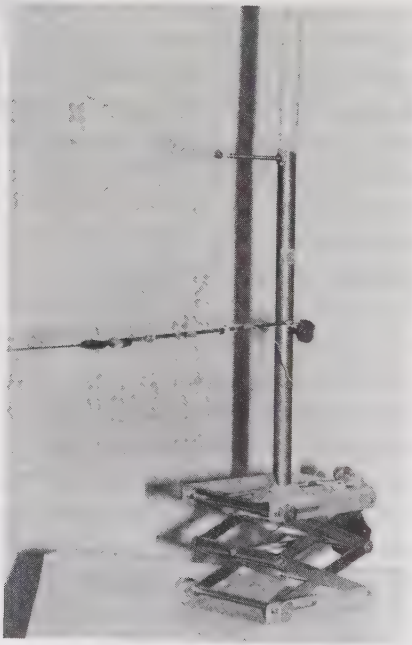


Abb. 2: Der federgefesselte Drehschwinger
Der waagrechte Meßarm ist kugelgelagert an einem Stativ befestigt. Er wird durch eine Feder im Gleichgewicht gehalten. Da die Reibungskräfte im Kugellager gering sind, kann der Meßarm beim Meßvorgang trägheitsfrei den physiologischen Bewegungen des Zahnes folgen.

1.2 Die Elektronik

Die elektronische Kraftmessung beruht auf dem Piezo-Effekt. Zwei piezoresistive Halbleiterelemente sitzen auf dem hinteren Ende einer ca. 2 cm langen Nadel, die mit einem Kunststoff isoliert ist. Sie werden durch die über die Nadel übertragende mechanische Belastung gegeneinander verbogen und ändern dabei ihren elektrischen Widerstand. Durch die Hebelwirkung der Nadel können noch Kräfte unter 1 mN* aufgelöst werden. Die Halbleiterelemente der Firma Endevco haben eine Abmessung von ca. 2 mm x 1 mm und sitzen auf einem Träger von 1,5 mm x 10,5 mm Grundfläche (siehe Abb. 3).

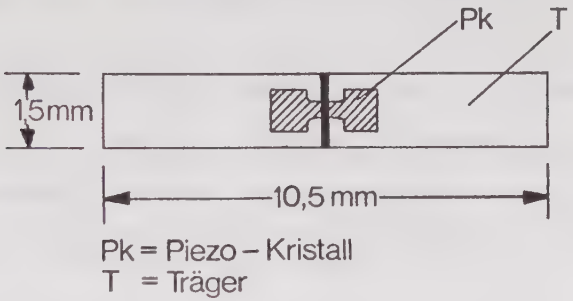


Abb. 3: Piezo-resistives Halbleiterelement.
Das Halbleiterelement ist auf einem Träger (T) mit den Ausmaßen 1,5 mm x 10,5 mm befestigt.
Der eigentliche Piezo-Kristall (pK) in der Mitte des Trägers mißt nur etwa 1 mm x 2 mm.

Sie sind in der Anordnung einer Wheatstone'schen Halbbrücke geschaltet (siehe Abb. 4).

---

*10 mN ≙ 1p (genauer Wert: 1 p = 9.806 mN).

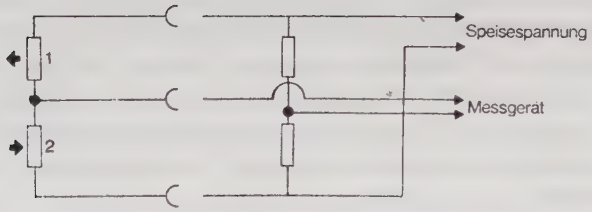


Abb.: 4 Schaltung der Piezo-Kristalle (1 und 2) in Anordnung einer Wheatstone'schen Halbbrücke. Die mechanische Verbiegung der Piezo-Kristalle bewirkt eine Spannungsänderung, die ein Kompensationsschreiber aufzeichnet.

Zur Verstärkung der Meßwerte und als Spannungsgeber für den Kraftfühler dient ein Trägerfrequenzmeßverstärker.

Durch Anlegen der Trägerfrequenzspannung an die Brücke werden die Widerstandsänderungen der Halbleiterelemente in elektrische Spannungsänderungen transformiert, die einem Mehrkanalschreiber der Firma Watanabe zugeführt werden.

Der Kraftaufnehmer wird von einer 5 kHz-Trägerfrequenzspannung aus dem Meßverstärker MG 3170 der Firma Hottinger-Baldwin-Meßtechnik (HBM) gespeist.

Die durch die mechanische Größe bedingte Brückenverstimmung wird über die Brückendiagonale elektrisch gemessen. Das Ausgangssignal des Meßverstärkers ist der Brückenverstimmung proportional.

Die obere Grenze des linearen Meßbereichs dieser Anordnung beträgt $\pm$ 120 mN, die Maximalbelastung liegt unwesentlich höher.

Der Linearitätsfehler beträgt $\pm$ 1 % vom Vollausschlag am Schreiber, entsprechend $\pm$ 0,1 mN.

Will der Proband eine Schwellenempfindung angeben, so betätigt er einen Taster. Dadurch wird die dem Meßverstärker nachgeschaltete Tarierautomatik TA 3545 der Firma HBM ausgelöst, die die Brückenverstimmung abbricht und gegen Null führt. Damit erscheint auf dem Schreiber eine senkrechte Linie, die den Meßwert angibt.

Für Messungen direkt am menschlichen Körper sowie in Körperhöhlen werden nach VDE-Vorschrift 0750 erhebliche Sicherheitsvorkehrungen verlangt. Daher ist dem Kraftaufnehmer das Vorschaltgerät VG 750 der Firma HBM vorgeschaltet, das die effektive Spannung an der Versuchsperson mittels zweier Trenntransformatoren auf maximal 6 V_{eff} begrenzt. Die gesamte Versuchsanordnung zeigt das Blockschaltbild (Abb. 5).

1.3 Fehlerbetrachtung der elektrischen Meßanordnung

Da nicht festgestellt werden kann, in welchem Ausmaß die Fehler der einzelnen hintereinandergeschalteten Teile der Meßanordnung sich zu einem Gesamtfehler addieren, muß der ungünstigste Fall angenommen werden in der Weise, daß sich die einzelnen Linearitätsfehler zum Gesamtfehler summieren. Dabei geht der Linearitätsfehler der Halbbrücke (F_1), der des Meßverstärkers (F_2) und der des Schreibers (F_3) in die Fehlerbetrachtung ein.

Der Gesamtfehler beträgt daher $F_{ges} = F_1 + F_2 + F_3$.

Die Datenbeschreibungen der Geräte liefern folgende Werte:

$F_{ges} = (\pm 1\ \%) + (\pm 0.15\ \%) + (\pm 0.3\ \%)$ des Vollausschlags.

$F_{ges} = \pm 1.5\ \%$ des Vollausschlags.

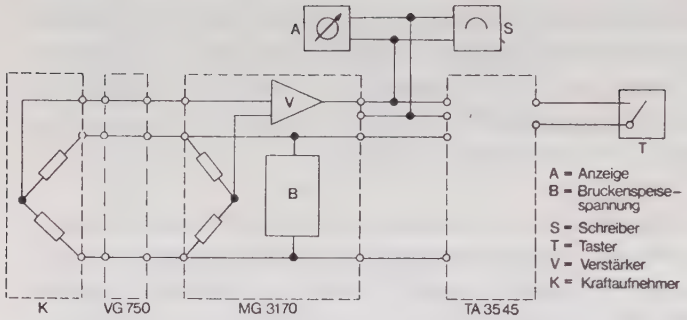


Abb. 5: Blockschaltbild der Versuchsanordnung. Der Kraftaufnehmer ist über das Vorschaltgerät VG 750 mit dem Trägerfrequenzmeßverstärker MG 3170 und der Tarierautomatik TA 3545 mit dem Digitalvoltmeter A und dem Schreiber S verbunden.

Der Kalibrierfehler braucht nicht berücksichtigt zu werden, da vor jeder Messung der elektrische Teil der Versuchsanordnung geeicht wurde (23).

2. Versuchsplanung und Durchführung der Messungen

Bei 9 männlichen Fachkollegen im Alter von 23 bis 34 Jahren wurden die Taktilitätsschwellen oberer mittlerer Schneidezähne mittels des federgefesselten Drehschwingers bestimmt, wobei wir die beiden Stufen der taktilen Empfindung (23, 17) als Berührschwelle bzw. als Druckschwelle definierten.

Die Messungen wurden zu konstanten Tageszeiten durchgeführt. Genormte Bedingungen in dieser Hinsicht ließen sich jedoch nicht verwirklichen. Die Messungen erfolgten in aufrecht sitzender Position mit Abstützung des Kopfes. Die Sicht auf die Versuchsapparatur wurde dem Probanden zwecks Erleichterung der Konzentration mit einer undurchsichtigen Brille genommen. Bei geringer Mundöffnung ermöglichte der Dreh-

schwinger das stoßfreie, vom Probanden nicht bemerkte Aufsetzen des Meßarmes auf einen Schneidezahn. Es folgte das Einleiten der Kraft, die mit konstant 2 mN/s gesteigert wurde. Zur Standardisierung des experimentellen Vorgehens wurden die Belastungen nur an einem Zahn vorgenommen, bei 8 Probanden an Zahn 11, bei Proband D an Zahn 21.

Die Messungen wurden ausschließlich an natürlichen, nicht überkronten, vitalen und parodontal gesunden Zähnen durchgeführt. Beim erstmaligen Auftreten einer Berühr- bzw. Druckempfindung wurde ein von seiten des Probanden mittels Druckknopf subjektiv ausgelöstes Signal durch eine Zäsur unmittelbar in das synchron gezeichnete Kraft-/Zeit-Diagramm übertragen. Maßgeblich für die Signalauslösung durch den Probanden sollte ausschließlich dessen Empfindung sein. Um einer Überlagerung durch eine sich einschleichende Rhythmik zu begegnen (d.h., der Proband signalisiert unterbewußt in bestimmten Zeitabständen) wurde bisweilen ein benachbarter Zahn belastet.

Bei der Durchführung der Versuche gingen wir wie folgt vor: Zunächst wurden die Taktilitätsschwellen des nicht beeinflußten Zahnes bestimmt. Da die Untersuchungen an verschiedenen Tagen stattfanden, wurden etwa 10 - 20 Probemessungen vor den eigentlichen Messungen zur Bestimmung der Taktilitässchwellen durchgeführt, um die Probanden mit den Meßgrössen vertraut zu machen. Diese Schwellenwerte dienten als Vergleichsgröße für die nachfolgenden Untersuchungen.

Nach Ausführung der durchblutungsverändernden Maßnahmen (s.u.) wurde eine mindestens fünfminütige Wartezeit bis zur Neubestimmung der Schwellen eingelegt.

Die Gesamtzahl der Meßakte pro Versuchsreihe betrug im Durchschnitt 30 - 40. Die Einzelmeßakte folgten in ungefähr einminütigem Abstand aufeinander.

Folgende Untersuchungen wurden vorgenommen:

1. Einfluß von Vasokonstringentien auf die Tastsensibilität der Zähne:
   Als vasoaktive Substanzen wurden Adrenalin[1], Octapressin und POR-8[2] (vgl. S. 9) verwendet. Diese kamen wie folgt zur Anwendung:

   a) Lokale Injektion von 1,5 ml Adrenalin in der Konzentration 1 : 80.000 in 10 Fällen.

   b) Lokale Injektion von 1,5 ml Octapressin im Verhältnis 0,03 I.E./ml in 10 Fällen.

   c) Lokale Injektion von 1,5 ml POR-8 im Verhältnis 0,5 I.E./ml in einem Fall.

   Die supraperiostale Injektion dieser vasoaktiven Substanzen erfolgte entsprechend der allgemein üblichen Technik in die Apikalregion des Zahnes 11 (bei Proband D Zahn 21) am Übergang der Mucosa vestibularis zur Gingiva propria.

2. Einfluß von vasodilatierenden Medien auf die taktile Sensibilität der Zähne.
   Die Wärmezufuhr wurde durch Mikrowellenbestrahlung des Parodontiums über 10 Min. bei 10 Watt mit der Fokuselektrode in 6 Fällen erreicht.[3]

---

1) Die Zubereitung der Adrenalin- (stabilisiert durch Bitartrat) und Octapressin-Lösungen (reinst, gelöst in physiologischer Kochsalzlösung) wurde freundlicherweise von der Universitätsapotheke, Tübingen durchgeführt.

2) Die POR-8^{R}-Lösung wurde uns von der Fa. Sandoz, Nürnberg zur Verfügung gestellt.

3) Zur Mikrowellenbestrahlung benutzten wir ein Gerät vom Typ "Radarmed" der Fa. Robert Bosch GmbH.

3. Verhalten der Taktilitätsschwellen unter Nikotineinwirkung in 6 Fällen.
   Die Probanden wurden angehalten, eine Zigarette möglichst rasch zu rauchen und den Rauch vollständig zu inhalieren. Der Nikotingehalt betrug bei den 3 verwendeten Zigarettenmarken laut Verpackung 0,9 - 1,3 mg.

4. Lokale Injektion von 1,5 ml physiologischer Kochsalzlösung.
   Um nachzuprüfen, ob ein Placebo-Effekt bei den Untersuchungen mit vasoaktiven Substanzen auftritt, wurde in einer weiteren Versuchsreihe physiologische Kochsalzlösung (Fresenius) injiziert und anschließend die Taktilitässchwellen bestimmt.

5. Verhalten der Taktilitätsschwellen bei rasch aufeinanderfolgenden Meßakten bei 7 Probanden.
   JENZ (1976) hat bei rasch aufeinanderfolgenden Meßakten zur kontinuierlichen Verlaufsbeobachtung der Taktilitätsschwellen festgestellt, daß die Streuung der Meßwerte nach ungefähr dem 30. Meßvorgang größer wird bzw. die Schwellen ansteigen.
   Um nachzuprüfen, ob derartige Wiederholungseffekte auch bei den vorliegenden Untersuchungen in Erscheinung treten, wurde der Meßvorgang nach Anzahl und Dauer der Schwellenbestimmungen simuliert, jedoch ohne Durchführung der durchblutungsverändernden Maßnahmen.

6. Vergleich der an verschiedenen Meßtagen ermittelten nicht beeinflußten Taktilitätsschwellen.
   Da die Untersuchungen zur Bestimmung der Einflußnahme durchblutungsverändernder Maßnahmen auf die parodontale Mechanoperzeption an verschiedenen, in unregelmäßigen Abständen folgenden Tagen stattfanden, wurden die Taktilitätsschwellen des zu prüfenden Zahnes an jedem Meßtag jeweils neu bestimmt.

Diese nicht beeinflußten, als sog. "Leerwerte" bezeichneten Taktilitätsschwellen wurden bei jedem Probanden miteinander verglichen und auf statistische Unterschiede geprüft.

3. Statistische Auswertung

Die Meßwerte der Taktilitätsschwellen vor und nach der Beeinflussung der parodontalen Durchblutung werden miteinander verglichen[1].

Die Art und Struktur unseres Datenmaterials erlaubt eine Fragestellung, für die der t-Test ein Optimum an Trennschärfe bietet.

Dieser Test setzt voraus, daß die Grundgesamtheiten zumindest annähernd normalverteilt und die Varianzen gleich sind.

Die Prüfgröße t ist:

$$t = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{\sqrt{\frac{n_1 + n_2}{n_1 \times n_2} \times \frac{Q_1 + Q_2}{n_1 + n_2 - 2}}}$$

n_1, n_2 : Anzahl der Stichprobenwerte

x_1, x_2 : Mittelwerte der Stichproben

$Q = (x - \bar{x})^2$: Summe der Abweichungsquadrate

---

1) Die statistische Auswertung des Datenmaterials erfolgte im Zentrum für Datenverarbeitung der Universität Tübingen.

Nach Ermittlung der Prüfgröße t wird die Homogenität der Varianzen mit Hilfe des F-Testes geprüft.

Hierbei wird die größere zweier Stichprobenvarianzen zur kleineren ins Verhältnis gesetzt. Der Quotient, welcher F heißt, hat mindestens den Wert 1. Überschreitet er einen tabellarisch fixierten, von der Anzahl der Freiheitsgrade abhängigen Wert, ist dies ein Hinweis für das Vorliegen einer Inhomogenität der Varianzen.

In diesen Fällen kommt der parameterfreie Aspin-Welsh-Test zur Anwendung mit der Prüfgröße:

$$t = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{\frac{s_1^2}{n_1} + \frac{s_1^2}{n_2}}$$

s_1, s_2: Standardabweichungen

Dieser kann das Ergebnis des t-Testes verwerfen, oder trotz Inhomogenität der Varianzen bestätigen.

IV. UNTERSUCHUNGSERGEBNISSE

1. Verhalten der Taktilitätsschwellen nach durchblutungsverändernden Maßnahmen

1.1 Lokalinjektion von Adrenalin

In den nachfolgenden Tab. 1a und 1b sind die Meßergebnisse der Schwellenbestimmungen in Gegenwart der Adrenalin-Einwirkung wiedergegeben. Entsprechend der Tab. 1a tritt in 5 von 10 Meßserien eine statistisch signifikante Erhöhung der Berührschwellen ein. In 2 Fällen fand eine Erniedrigung statt, die allerdings nichtsignifikanter Natur war. In 3 Fällen war die Erhöhung ebenfalls nicht signifikant. Bei der Druckschwelle liegt ein ähnliches Verhalten vor: 5 überwiegend hochsignifikanten Erhöhungen stehen 2 Schwellenerniedrigungen nicht signifikanter Natur gegenüber. Bei 3 Meßserien besteht eine Tendenz zur Schwellenerhöhung. Die graphische Darstellung dieser Ergebnisse findet sich in der Abb. 6 auf S. 37ff.

Tab. 1a und 1b: Verhalten der Berührschwellen (1a) und der Druckschwellen (1b) unter der lokalen Wirkung von 1.5 ml Adrenalin in der Konzentration 1 : 80.000 (Mittelwertangabe mit Standardabweichung in mN, Signifikanzniveau und Anzahl Messungen n_1 vor und n_2 nach Injektion).

Tab. 1a

Prob.	Vor Inj.	Nach Inj.	Sign. Niv.	n_1	n_2
A	2.1 ± 1.0	3.6 ± 1.8	0.05	11	27
B	19.7 ± 6.5	18.9 ± 7.5		10	19
C	10.2 ± 3.9	10.8 ± 4.4		15	20
	9.1 ± 3.3	10.2 ± 3.3		14	18
D	7.3 ± 3.1	13.7 ± 6.6	0.01	14	22
E	11.5 ± 2.6	16.2 ± 5.1	0.01	12	18
G	10.4 ± 4.0	12.8 ± 6.2		10	40
H	8.8 ± 3.6	12.4 ± 3.8	0.05	9	21
I	18.7 ± 9.5	15.0 ± 5.1		14	18
	9.6 ± 4.4	14.4 ± 5.0	0.05	11	27

Tab. 1b

Prob.	Vor Inj.	Nach Inj.	Sign. Niv.	n_1	n_2
A	11.2 ± 1.7	15.3 ± 4.2	0.01	11	27
B	36.8 ± 8.1	33.7 ± 12.9		10	19
C	53.8 ± 10.0	66.6 ± 9.9	0.01	15	20
	46.6 ± 12.3	41.8 ± 8.1		14	18
D	56.0 ± 5.2	62.6 ± 9.2	0.05	14	22
E	53.3 ± 6.6	62.9 ± 9.9	0.01	12	18
G	25.4 ± 5.2	28.4 ± 6.2		10	40
H	28.6 ± 7.0	40.0 ± 6.0	0.01	9	21
I	36.7 ± 9.2	36.8 ± 7.3		14	18
	33.4 ± 7.5	38.5 ± 7.0		11	27

1.2 Lokalinjektion von Octapressin

Unter der Einwirkung von Octapressin wurde folgendes Verhalten der Berührschwelle beobachtet: In 5 von 10 Meßserien trat eine Erhöhung ein, die allerdings das Signifikanzniveau nicht erreichte. In 3 Fällen war sie signifikanter Natur. In 2 Meßserien fand eine nichtsignifikante Erniedrigung statt.

Die Ergebnisse sind in Tab. 2a und 2b auf S. 29f. zusammengestellt.

Für die Druckschwelle gilt folgendes Verhalten: Hier trat bei 9 Meßserien eine Erhöhung ein, 7 davon waren hochsignifikanter, die restlichen 2 nichtsignifikanter Art. Bei Proband I wurde eine nichtsignifikante Erniedrigung beobachtet.

Tab. 2a und 2b: Verhalten der Berührschwellen (2a) und Druckschwellen (2b) unter der lokalen Wirkung von 1.5 ml Octapressin in der Konzentration 0.03 I.E./ml (Mittelwertangabe mit Standardabweichung in mN, Signifikanzniveau und Anzahl Messungen n_1 vor und n_2 nach Injektion).

Tab. 2a

Prob.	Vor Inj.	Nach Inj.	Sign. Niv.	n_1	n_2
A	6.0 ± 2.6	7.8 ± 4.1		14	19
D	7.9 ± 2.6	6.8 ± 2.4		13	16
F	15.1 ± 2.4	23.0 ± 3.0	0.01	15	17
G	1.7 ± 1.5	2.5 ± 0.9		12	28
	1.2 ± 0.4	1.6 ± 0.4	0.05	9	22
	5.8 ± 1.2	9.5 ± 6.2		10	21
	9.4 ± 4.2	10.7 ± 7.0		12	28
H	4.3 ± 1.8	10.1 ± 4.6	0.01	12	23
I	18.1 ± 8.0	13.9 ± 3.5		11	12
	10.1 ± 4.8	13.0 ± 6.1		13	19

Tab. 2b

Prob.	Vor Inj.	Nach Inj.	Sign. niv.	n_1	n_2
A	25.0 ± 6.3	26.0 ± 10.5		14	19
D	44.2 ± 13.4	59.0 ± 7.8	0.01	13	16
F	46.7 ± 3.4	54.9 ± 5.2	0.01	15	17
G	3.4 ± 1.7	5.3 ± 1.6	0.01	12	28
	3.6 ± 0.7	4.6 ± 0.9	0.01	9	22
	19.1 ± 3.4	38.1 ± 9.4	0.01	10	21
	23.6 ± 4.6	28.1 ± 9.0		12	28
H	25.1 ± 4.2	35. ± 7.9	0.01	12	23
I	43.2 ± 14.6	40.4 ± 6.8		11	12
	26.6 ± 7.1	36.8 ± 6.9	0.01	13	19

1.3 Lokalinjektion von POR-8

Da bei der Applikation von POR-8 ein Kreislaufzwischenfall eintrat, wurde auf die weitere Anwendung dieses Pharmakons verzichtet. Bei dem einen gemessenen Fall war der Anstieg sowohl der Berühr- als auch der Druckschwellen hochsignifikant (s. hierzu Tab. 3, S. 31).

Tab. 3: Verhalten der Berühr- und Druckschwellen unter der lokalen Wirkung von 1.5 ml POR-8 in einer Konzentration von 0.5 I.E./ml bei Proband B (Mittelwertangabe mit Standardabweichung in mN, Signifikanzniveau und Anzahl Messungen n_1 vor und n_2 nach Injektion.

	Vor Inj.	Nach Inj.	Sign. niv.	n_1	n_2
Berührschwelle	16.1 ± 8.0	25.5 ± 9.5	0.01	13	23
Druckschwelle	30.3 ± 11.4	50.0 ± 11.9	0.01	13	23

1.4 Zusammenfassung der Untersuchungsergebnisse der 3 vasoaktiven Substanzen nach relativen Häufigkeiten (s. Tab. 4)

In 42.8 % der Meßserien ist die Erhöhung signifikanter Natur. In 38.2 % liegt ebenfalls eine Erhöhung vor, die allerdings das Signifikanz-Niv. nicht erreichte. Lediglich bei 19 % wurde eine nicht-signifikante Erniedrigung beobachtet.

Für die Druckschwelle gilt entsprechendes:
Hier allerdings ist die signifikante bzw. hochsignifikante Schwellenerhöhung mit 62 % deutlich höher als bei der Berührschwelle. In 23.8 % der Meßserien ist die Erhöhung nichtsignifikant.

Dagegen ist der prozentuale Anteil von Schwellenerniedrigungen mit 14.2 % deutlich kleiner als bei der Berührschwelle. Weder bei der Berühr- noch bei der Druckschwelle wurde eine signifikante Erniedrigung beobachtet.

Tab. 4: Zusammenfassung der Meßergebnisse mit Adrenalin, Octapressin und POR-8 mit Angabe der absoluten und relativen Häufigkeiten signifikanter und nichtsignifikanter Tastschwellenerhöhungen bzw. -erniedrigungen

Berührschwelle

	n.sign. Erh.	sign. Erh.	n.sign. Ern.	sign. Ern.	Gesamt
Adrenalin	3	5	2	-	10
Octapressin	5	3	2	-	10
POR-8	-	1	-	-	1
	8 (38.2%)	9 (42.8%)	4 (19.0%)		21 (100%)

Druckschwelle

	n.sign. Erh.	sign. Erh.	n.sign. Ern.	sign. Ern.	Gesamt
Adrenalin	3	5	2	-	10
Octapressin	2	7	1	-	10
POR-8	-	1	-	-	1
	5 (23.8%)	13 (62.0%)	3 (14.2%)		21 (100%)

1.5 Einfluß der Mikrowellenbestrahlung auf das Verhalten der Taktilitätsschwellen

Die Ergebnisse der Wärmedurchflutung des Zahnhalteapparates mit Hilfe der Mikrowellenbestrahlung sind in den nachfolgenden Tab. 5a und 5b aufgeführt. Ihre graphische Darstellung erfolgt in den Abb. 6a - g auf S. 37ff.

Die Auswertung ergibt, daß die Taktilitätsschwellen deutlich beeinflußt werden. Dies gilt insbesondere für die Druckschwelle. Bei 5 von 7 Probanden fand eine Erniedrigung statt, davon in 4 Fällen hochsignifikanter Natur (57.1 %). Lediglich bei 2 Probanden wurde eine Erhöhung beobachtet, die bei Prob. H das Signifikanzniveau erreichte (28.6 %).

Im Gegensatz dazu sind die Berührschwellen weitgehend unbeeinflußt von der durchblutungsfördernden Wärmebestrahlung. Nur in einem Fall wurde eine signifikante Erniedrigung der Schwelle beobachtet (14.3 %). Bei 4 Probanden war zwar ebenfalls eine Tendenz zur Erniedrigung festzustellen, die jedoch nichtsignifikanter Natur war. Nur bei den Prob. H und C lag eine geringgradige Erhöhung vor, auch hier nichtsignifikanter Art.

Tab. 5a und 5b: Verhalten der Berührschwellen (5a) und der Druckschwellen (5b) bei Mikrowellenbestrahlung über 10 min bei 10 Watt (Fokuselelektrode) (Mittelwertangabe mit Standardabweichung in mN, Signifikanzniveau und Anzahl Messungen n_1 vor und n_2 nach Bestrahlung).

Tab. 5a

Prob.	Vor Inj.	Nach Inj.	Sign. niv.	n_1	n_2
A	6.7 ± 3.1	4.3 ± 1.8	0.05	17	14
C	8.8 ± 3.6	9.0 ± 4.7		18	16
D	6.9 ± 2.1	6.8 ± 1.4		16	16
E	11.6 ± 4.9	8.9 ± 3.7		12	15
F	14.0 ± 3.7	13.2 ± 4.6		14	16
H	9.3 ± 2.5	10.4 ± 4.2		14	20
I	10.4 ± 2.0	7.5 ± 3.0		5	21

Tab. 5b

Prob.	Vor Inj.	Nach Inj.	Sign. niv.	n_1	n_2
A	35.2 ± 4.6	24.3 ± 3.3	0.01	17	14
C	49.5 ± 8.3	40.9 ± 8.7	0.01	14	23
D	50.3 ± 8.6	38.0 ± 8.0	0.01	16	16
E	38.2 ± 6.0	33.7 ± 5.8		12	15
F	45.3 ± 3.7	46.1 ± 4.2		14	16
H	19.3 ± 3.7	24.0 ± 6.8	0.05	14	20
I	29.5 ± 4.6	17.6 ± 5.4	0.01	5	21

1.6 Verhalten der Taktilitätsschwellen unter Nikotineinwirkung

Nach Bestimmung der sog. Leerwerte der Taktilitätsschwellen wurden die Probanden angehalten, eine Zigarette in möglichst kurzer Zeit zu rauchen und dabei den Rauch vollständig zu inhalieren, um eine ausreichende Nikotinbelastung zu erreichen.

Nach einer Wartezeit von ungefähr 5 Minuten wurden die Schwellen erneut bestimmt.

Die Ergebnisse sind in den Tab. 6a und 6b aufgeführt (s. hierzu die Abb. 6 auf 37ff.).

Bei 4 von 6 Meßserien (5 Probanden) trat eine geringgradige Erhöhung der Schwelle ein, entsprechend 66.7 %. Auch die in einem Fall beobachtete Schwellenerniedrigung war nichtsignifikanter Natur. Eine Ausnahme bildet Proband C mit einer hochsignifikanten, auch bezüglich des Absolutwertes eklatanten Erhöhung.

Bei den Druckschwellen zeigt sich ein ähnliches Bild: Auch hier sind bei 3 Meßserien die Schwellenerhöhungen nichtsignifikant (50 %). In 2 Fällen sind sie jedoch signifikant (33.3 %). In einem Fall wurde eine nichtsignifikante Schwellenerniedrigung festgestellt.

Tab. 6a und 6b: Vergleich der Berührschwellen (6a) und Druckschwellen (6b) vor und nach Inhalation einer Zigarette (Mittelwertangabe mit Standardabweichung in mN, Signifikanzniveau und Anzahl Messungen n_1 vor und n_2 nach Injektion).

Tab. 6a

Prob.	Vor Inhal.	Nach Inhal.	Sign. Niv.	n_1	n_2
A	4.4 ± 2.6	5.4 ± 2.4		18	20
	4.4 ± 1.6	5.3 ± 1.7		10	20
C	10.0 ± 4.4	22.7 ± 8.8	0.01	14	23
D	8.5 ± 3.0	7.7 ± 1.5		13	17
G	7.2 ± 3.1	8.5 ± 3.8		20	21
H	8.2 ± 2.8	8.6 ± 3.3		17	20

Tab. 6b

Prob.	Vor Inhal.	Nach Inhal.	Sign. Niv.	n_1	n_2
A	27.4 ± 6.9	28.1 ± 6.4		18	20
	15.6 ± 3.5	16.9 ± 3.4		10	20
C	44.4 ± 6.4	88.3 ± 24.9	0.01	14	23
D	26.5 ± 4.7	32.0 ± 8.7	0.05	13	17
G	21.6 ± 7.5	19.4 ± 5.6		20	21
H	39.1 ± 9.6	40.8 ± 6.8		17	20

Abb. 6 (a - g): Verhalten der Taktilitätsschwellen nach durchblutungsverändernden Maßnahmen.

Die Mittelwerte unbeeinflußter taktiler Schwellen (•) werden solchen nach durchblutungsverändernden Maßnahmen (o) gegenübergestellt.
Durchgezogene Verbindungslinie: Berührschwelle
Gestrichelte Linie: Druckschwelle
Einfacher Pfeil: Signifikanter Unterschied (Irrtumswahrscheinlichkeit 5%)
Doppelter Pfeil: Hochsignifikanter Unterschied (Irrtumswahrscheinlichkeit 1%)

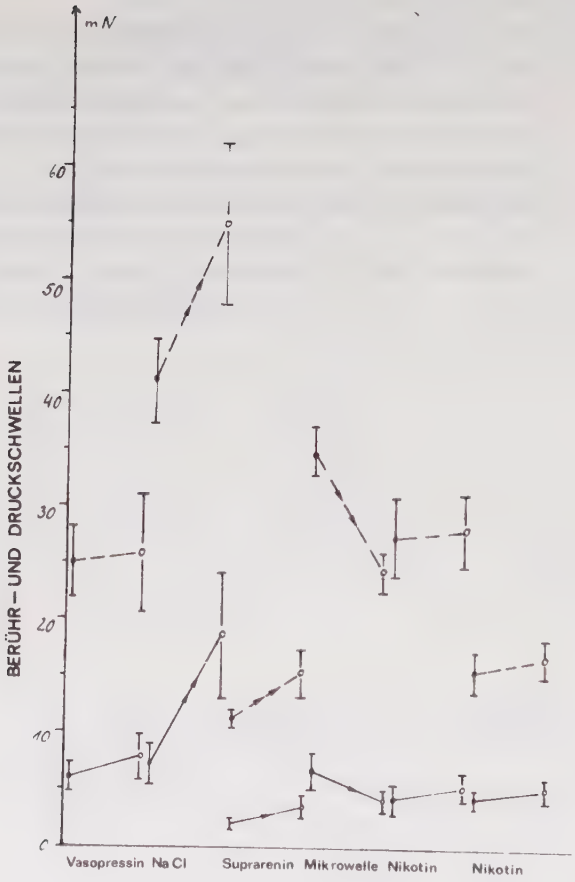


Abb. 6a: Verhalten der Taktilitätsschwellen nach durchblutungsverändernden Eingriffen bei Proband A, Zahn 11.

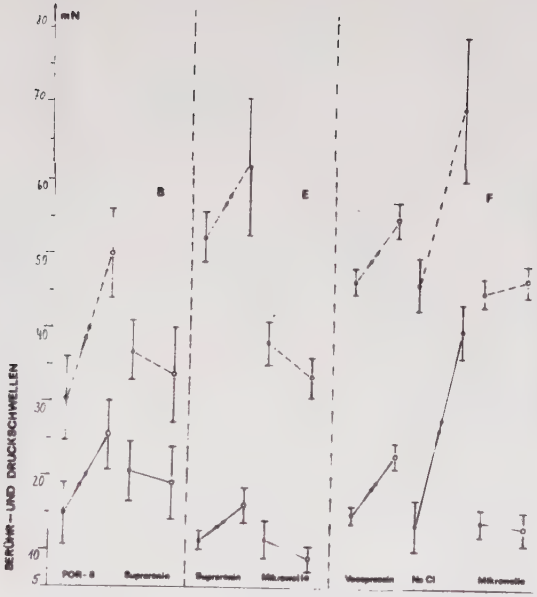


Abb. 6b: Verhalten der Taktilitätsschwellen nach durchblutungsverändernden Eingriffen bei den Probanden B, E und F, Zahn 11.

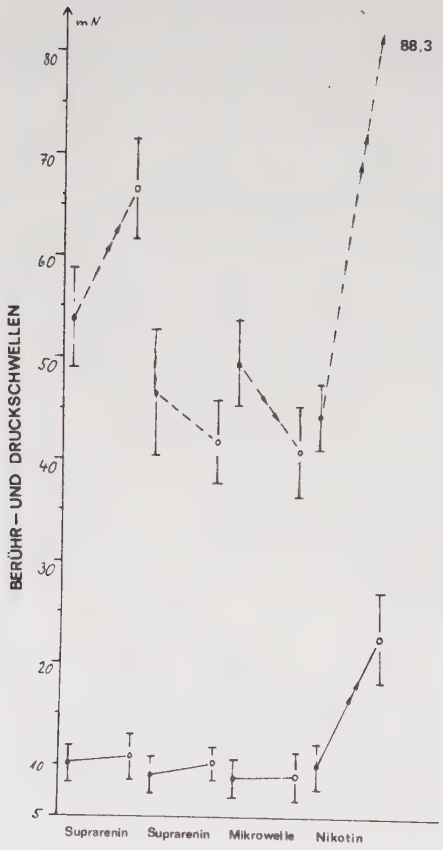


Abb. 6c: Verhalten der Taktilitätsschwellen nach durchblutungsverändernden Eingriffen bei Proband C, Zahn 11.

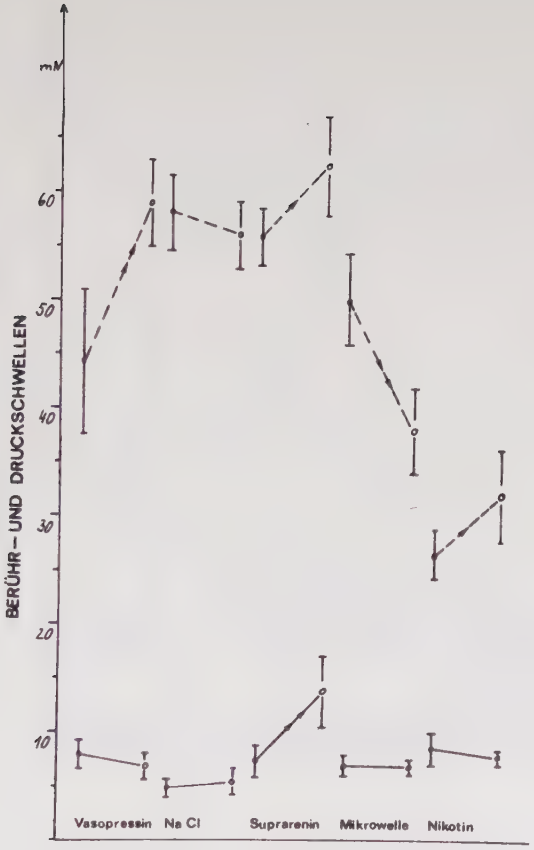


Abb. 6d: Verhalten der Taktilitätsschwellen nach durchblutungsverändernden Eingriffen bei Proband D, Zahn 21.

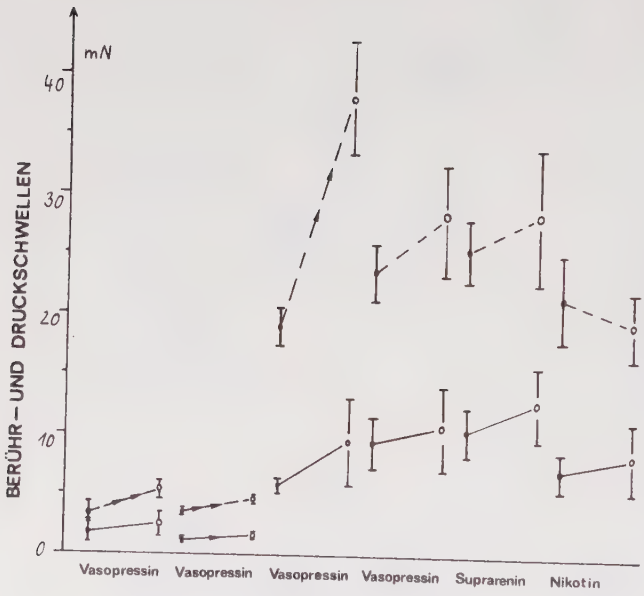


Abb. 6e: Verhalten der Taktilitätsschwellen nach durchblutungsverändernden Eingriffen bei Proband G, Zahn 11.

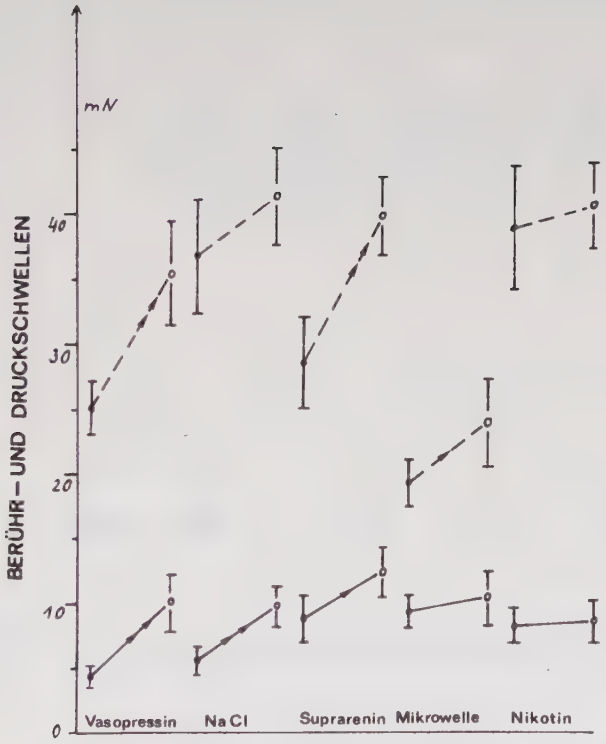


Abb. 6f: Verhalten der Taktilitätsschwellen nach durchblutungsverändernden Eingriffen bei Proband H, Zahn 11.

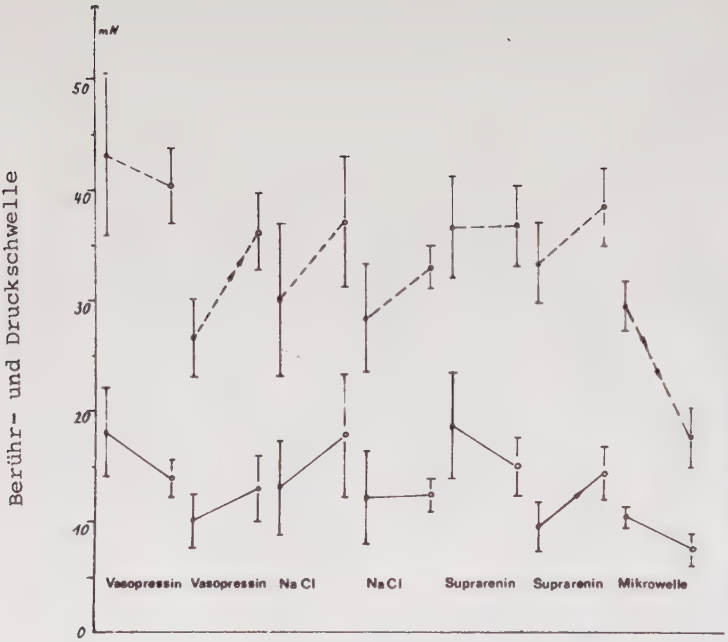


Abb. 6g: Verhalten der Taktilitätsschwellen nach durchblutungsverändernden Eingriffen bei Proband I, Zahn 11.

2. Lokalinjektion von physiologischer Kochsalzlösung

In Gegenwart der pharmakodynamisch inerten physiologischen Kochsalzlösung konnte folgendes Verhalten der Berührschwellen festgestellt werden (s. Tab. 7a und 7b): Bei 3 von 6 Meßserien trat eine hochsignifikante Erhöhung der Berührschwelle ein (50 %). Auch bei den restlichen 3 fand eine Erhöhung statt, die allerdings das Signifikanzniveau nicht erreichte (50 %).

Das Verhalten der Druckschwellen ähnelt dem der Berührschwellen: Hier war bei 2 Meßserien die Erhöhung signifikant (33.3 %). In 3 Fällen nichtsignifikant (50 %). Bei Proband D trat eine nichtsignifikante Erniedrigung ein (16.7 %).

Tab. 7a und 7b: Verhalten der Berührschwellen (5a) und Druckschwellen (5b) bei lokaler Injektion von 1.5 ml 0.9 %-Kochsalzlösung (Mittelwertangabe mit Standardabweichung in mN, Signifikanzniveau und Anzahl Messungen n_1 vor und n_2 nach Injektion).

Tab. 7a:

Prob.	Vor Inj.	Nach Inj.	Sign. niv.	n_1	n_2
A	7.3 ± 3.4	18.5 ± 11.1	0.01	15	16
B	4.8 ± 1.6	5.3 ± 2.3		12	21
F	13.6 ± 6.9	25.2 ± 7.2	0.01	17	17
H	5.6 ± 2.2	9.7 ± 3.3	0.01	16	19
I	13.1 ± 8.5	17.8 ± 11.2		13	17
	12.2 ± 8.5	12.4 ± 3.0		15	21

Tab. 7b

Prob.	Vor Inj.	Nach Inj.	Sign niv.	n_1	n_2
A	41.1 ± 7.4	55.1 ± 14.2	0.01	15	16
D	58.1 ± 7.2	56.1 ± 6.6		12	21
F	46.4 ± 7.4	69.9 ± 10.1	0.01	17	17
H	36.8 ± 8.9	41.5 ± 7.6		16	19
I	30.1 ± 13.8	37.2 ± 12.1		13	17
	28.4 ± 9.9	32.9 ± 4.1		15	21

3. Einfluß des Wiederholungseffektes auf das Niveau der Taktilitätsschwellen.

Zur Klärung der Frage, ob im Laufe des Versuches eine Schwellenänderung allein durch den wiederholten Meßvorgang eintritt, bestimmten wir in einem Parallelversuch bei 7 Probanden die Berühr- und Druckschwellen durchschnittlich 30 - 35 mal hintereinander mit einer etwa 5-minütigen Pause bei Versuchshalbzeit. Die Einzelmessungen erfolgten in ungefähr einminütigem Abstand. Die Werte der ersten Versuchshälfte wurden mit jenen der zweiten -hälfte verglichen.

Die Ergebnisse sind in den Tab. 8a und 8b aufgeführt und in Abb. 7 graphisch dargestellt.

Die statistische Auswertung mit Hilfe des t-Testes bzw. des Aspin-Welsh-Testes ergibt in 6 von 11 Meßserien nichtsignifikante Erhöhungen der Berührschwellen (54,5%). In 3 Fällen (27,3%) erreichten sie jedoch das Signifikanzniveau. Ebenso wurden 2 nichtsignifikante Erniedrigungen beobachtet (18,2%).

Bei den Druckschwellen liegt ein ähnlicher Sachverhalt vor: Hier waren ebenfalls bei 6 von 11 Meßserien die Schwellenerhöhungen nichtsignifikant (54,5%). In 2 Fällen waren sie signifikant (18,2%). Zweimal wurde eine nichtsignifikante Erniedrigung beobachtet (18,2%). In einem Fall blieb die Schwellenhöhe unverändert.

Tab. 8a und 8b: Verhalten der nichtbeeinflußten Berührschwellen (8a) und Druckschwellen (8b) bei wiederholten, in einminütigem Abstand aufeinander folgenden Meßakten (Mittelwertangabe mit Standardabweichung in mN, Signifikanzniveau und Anzahl der Messungen n_1 vor und n_2 nach Versuchshalbzeit).

Tab. 8a

Prob.	1. Versuchshälfte	2. Versuchshälfte	Sign.Niv.	n_1	n_2
A	6.4 ± 2.8	7.2 ± 2.9		16	17
	4.9 ± 2.6	8.1 ± 4.2	0.05	16	17
C	10.9 ± 3.7	13.1 ± 3.6		18	19
	7.1 ± 3.0	8.0 ± 3.4		18	19
E	15.9 ± 3.6	15.4 ± 5.4		16	17
	15.2 ± 3.8	16.9 ± 6.0		16	17
F	8.0 ± 4.9	14.2 ± 4.5	0.01	16	18
G	6.4 ± 2.6	5.4 ± 2.6		10	10
H	5.2 ± 2.8	6.4 ± 2.5		18	18
	10.4 ± 2.8	11.7 ± 4.0		17	17
I	3.2 ± 1.8	6.8 ± 2.6	0.01	16	17

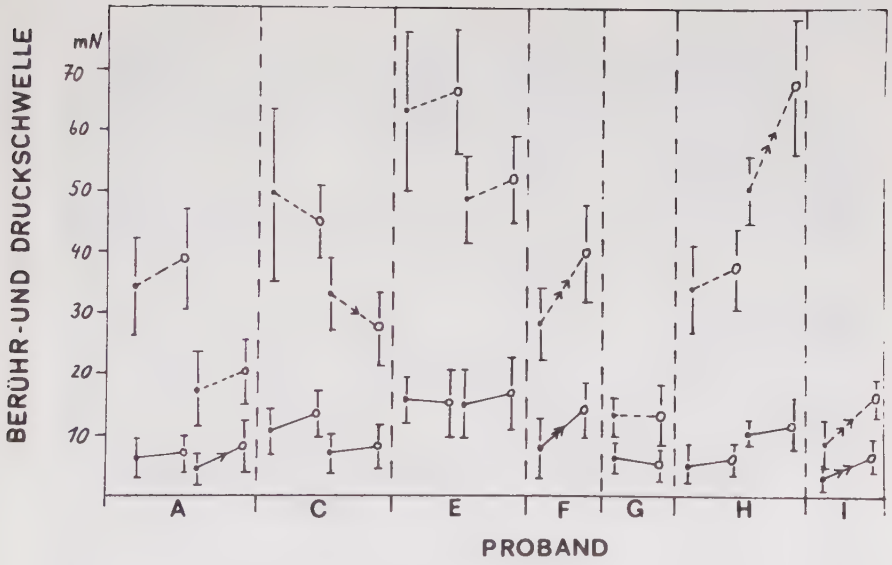
Tab. 8b

Prob.	1. Versuchshälfte	2. Versuchshälfte	Sign.Niv.	n_1	n_2
A	34.9 ± 8.0	38.6 ± 8.3		16	17
	17.3 ± 6.0	20.2 ± 5.2		16	17
C	49.4 ± 13.8	20.2 ± 5.7		18	19
	32.8 ± 6.3	27.7 ± 5.6	0.05	18	19
E	63.4 ± 13.3	66.2 ± 9.5		16	17
	48.8 ± 7.2	52.0 ± 7.0		16	17
F	27.8 ± 6.4	40.1 ± 8.0	0.01	16	18
G	13.1 ± 3.3	13.1 ± 4.9		10	10
H	34.3 ± 7.1	37.5 ± 6.5		18	18
	59.0 ± 5.4	67.6 ± 10.6	0.01	17	17
I	8.7 ± 3.6	16.4 ± 2.9	0.01	16	17

Abb. 7: Einfluß des Wiederholungseffektes auf das Verhalten der Taktilitätsschwellen.

Berührschwelle: Durchgezogene Linie.
Druckschwelle: Gestrichelte Linie.

Einfacher Pfeil: Signifikanter Unterschied.
Doppelpfeil: Hochsignifikanter Unterschied.



4. Tabellarische Zusammenfassung der absoluten und relativen Häufigkeiten signifikanter und nichtsignifikanter Tastschwellenänderungen unter Einwirkung von physiologischer Kochsalzlösung, Mikrowellenbestrahlung, Nikotin sowie als Folge des Wiederholungseffektes

Tab. 9

Berührschwelle

	Nichtsign. Erh.	Sign. Erh.	Nichtsign. Ern.	Sign. Ern.	Gesamt
NaCl	3 (50%)	3 (50%)	-	-	6 (100%)
Mikrowelle	2 (28,6%)	-	4 (57,1%)	1 (14,3%)	7 (100%)
Nikotin	4 (66,7%)	1 (16,7%)	1 (16,7%)	-	6 (100%)
Wiederholungseffekt	6 (54,5%)	3 (27.3%)	2 (18,2%)	-	11 (100%)

Druckschwelle

	Nichtsign. Erh.	Sign. Erh.	Nichtsign. Ern.	Sign. Ern.	Gesamt
NaCl	3 (50%)	2 (33,3%)	1 (16,7%)	-	6 (100%)
Mikrowelle	1 (14,3%)	1 (14,3%)	1 (14,3%)	4 (57.1%)	7 (100%)
Nikotin	3 (50,0%)	2 (33,3%)	1 (16,7%)	-	6 (100%)
Wiederholungseffekt	6 (54,5%)	2 (18,2%)	2 (18,2%)	1 unverändert (9,1%)	11 (100%)

5. Vergleich der an verschiedenen Meßtagen ermittelten nicht-beeinflußten Taktilitätsschwellen

Wir haben die an verschiedenen Meßtagen bei den jeweiligen Probanden ermittelten Werte der Taktilitätsschwellen der unbeeinflußten Parondotien, d.h. vor Durchführung der durchblutungsverändernden Maßnahmen (s.S.22f), miteinander verglichen und auf statistisch signifikante Unterschiede geprüft. Die Ergebnisse dieser Untersuchungen sind in den nachfolgenden Tabellen 10a und 10b auf S. 52f aufgeführt, sowie in Abb. 8a-h auf S. 56ff graphisch dargestellt.

Es fällt auf, daß die Taktilitätsschwellen sehr großen Schwankungen unterliegen. Dies trifft insbesondere für die Druckschwellen zu, die sich in den meisten Fällen signifikant voneinander unterscheiden: In den Abb. 7a, b, g und h der Probanden A, C, H und I fällt eine gewisse Periodizität des Schwellenverlaufs auf. Auf eine Phase verminderter Mechanoperzeption folgt eine Phase, bei der offensichtlich wieder eine verstärkte Sensibilität besteht.

Im Gegensatz dazu ist der Verlauf der Berührschwellen sehr viel ruhiger, signifikante Erhöhungen und Erniedrigungen seltener. Dies ist vor allem bei den Probanden A, C, D und F der Fall. Periodische Änderungen der Mechanoperzeption für Kräfte im Berührschwellenbereich sind nicht oder nur in geringem Umfang erkennbar.

Ein synchrones Verhalten der Berührschwellen zum Verlauf der Druckschwellen ist nur bei den Probanden G (Abb. 8f) und I (Abb. 8h) zu beobachten. Bei allen anderen Probanden ist der zeitliche Berührschwellenverlauf im vorliegenden Untersuchungsgut weitgehend unabhängig vom Verhalten der Druckschwelle.

Tab. 10a und 10b: Zusammenstellung der an verschiedenen Meßtagen ermittelten nichtbeeinflußten Berührschwellen (a) und Druckschwellen (b) (Mittelwertangabe mit Standardabweichung in mN).

Tab. 10a

Prob.	Meßtage (Mittelwerte mit Standardabweichung in mN)							
	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.
A	6.4 ± 2.8	4.9 ± 2.6	7.3 ± 3.4	6.0 ± 2.6	2.1 ± 1.0	6.7 ± 3.1	4.4 ± 2.6	4.4 ± 1.6
B	16.1 ± 8.0	19.7 ± 6.5						
C	10.9 ± 3.7	7.1 ± 3.0	10.2 ± 3.9	9.1 ± 3.3	8.8 ± 3.6	10.0 ± 4.4		
D	4.8 ± 1.6	7.9 ± 2.6	7.3 ± 3.1	6.9 ± 2.1	8.5 ± 3.0			
E	15.9 ± 3.6	15.2 ± 5.8	11.5 ± 2.6	11.6 ± 4.9				
F	8.0 ± 4.9	13.6 ± 6.9	15.1 ± 2.4	14.0 ± 3.7				
G	6.4 ± 2.6	1.7 ± 1.5	1.2 ± 0.4	5.8 ± 1.2	9.4 ± 4.2	10.4 ± 4.0	7.2 ± 3.1	
H	5.2 ± 2.8	10.4 ± 2.8	5.6 ± 2.2	4.3 ± 1.8	8.8 ± 3.6	9.3 ± 2.5	8.2 ± 2.8	
I	3.2 ± 1.8	13.1 ± 8.5	12.2 ± 8.5	18.1 ± 8.0	10.1 ± 4.8	18.7 ± 9.5	9.6 ± 4.4	10.4 ± 2.0

Tab. 10b

Meßtage (Mittelwerte mit Standardabweichung in mN)

Prob.	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.
A	34.9 ± 8.0	17.3 ± 6.0	41.1 ± 7.4	25.0 ± 6.3	11.3 ± 1.7	35.2 ± 4.6	27.4 ± 6.9	15.6 ± 3.5
B	30.3 ± 11.4	36.8 ± 8.1						
C	49.4 ± 13.8	32.8 ± 6.3	53.8 ± 10.0	46.6 ± 12.3	49.5 ± 8.3	44.4 ± 6.4		
D	58.1 ± 7.2	44.2 ± 13.4	56.0 ± 5.2	50.3 ± 8.6	26.5 ± 4.7			
E	63.4 ± 13.3	48.8 ± 7.2	53.3 ± 6.6	38.2 ± 6.0				
F	27.8 ± 6.4	46.4 ± 7.4	46.7 ± 3.4	45.3 ± 3.7				
G	13.1 ± 3.3	3.4 ± 1.7	3.6 ± 0.7	19.1 ± 3.4	23.6 ± 4.6	25.4 ± 5.2	21.6 ± 7.5	
H	34.3 ± 7.1	59.0 ± 5.4	36.8 ± 8.9	25.1 ± 4.2	28.6 ± 7.0	19.3 ± 3.7	39.1 ± 9.6	
I	8.7 ± 3.6	30.1 ± 13.8	28.4 ± 9.9	43.2 ± 14.6	26.6 ± 7.1	26.7 ± 9.2	33.4 ± 7.5	29.5 ± 4.6

Abb. 8 (a-h): Schwellenniveau der dentalen Taktilität an verschiedenen Meßtagen mit Angabe der Mittelwerte und der Standardabweichung. Verlauf der Berührschwelle: Durchgezogene Linie, Verlauf der Druckschwelle: Gestrichelte Linie. Einfacher Pfeil: Signifikanter Unterschied. Doppelpfeil: Hochsignifikanter Unterschied.

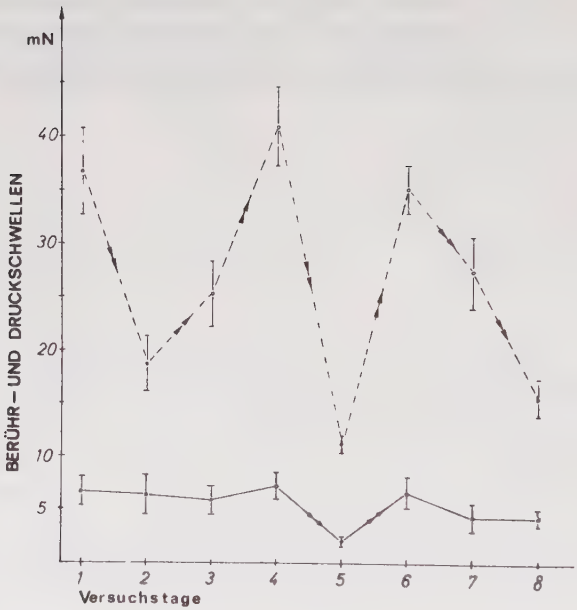


Abb. 8a: Verlauf der unbeeinflußten Taktilitätsschwellen an 8 verschiedenen Meßtagen bei Proband A, Zahn 11.

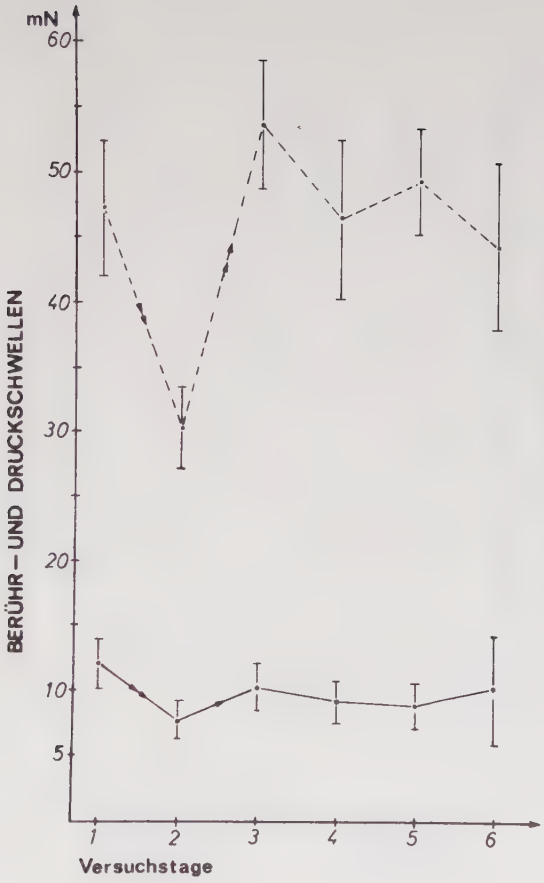


Abb. 8b: Verhalten der unbeeinflußten Taktilitätsschwellen an 6 Meßtagen bei Proband C, Zahn 11.

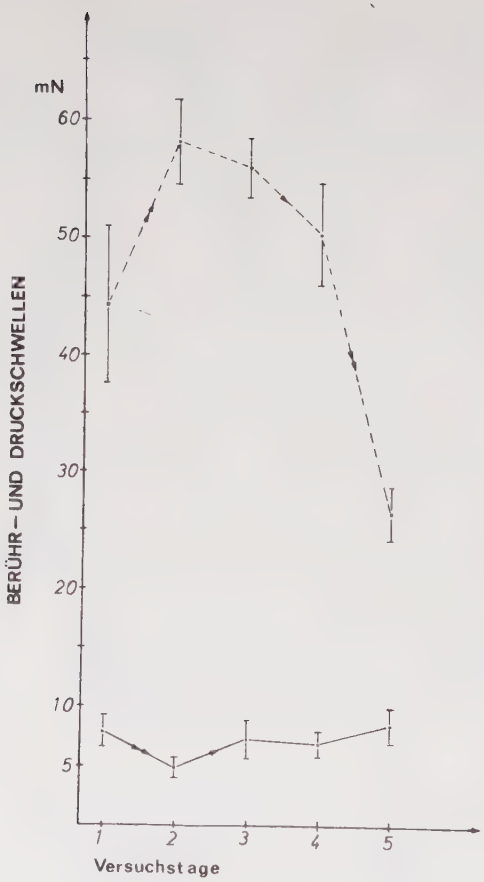


Abb. 8c: Verhalten der unbeeinflußten Taktilitätsschwellen an 5 verschiedenen Meßtagen bei Proband D, Zahn 21.

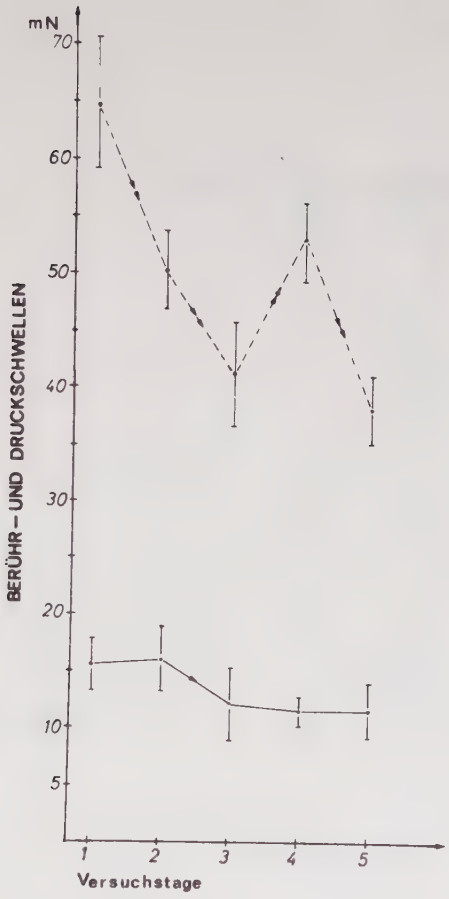


Abb. 8d: Verhalten der unbeeinflußten Taktilitätsschwellen an 5 verschiedenen Meßtagen bei Proband E, Zahn 11.

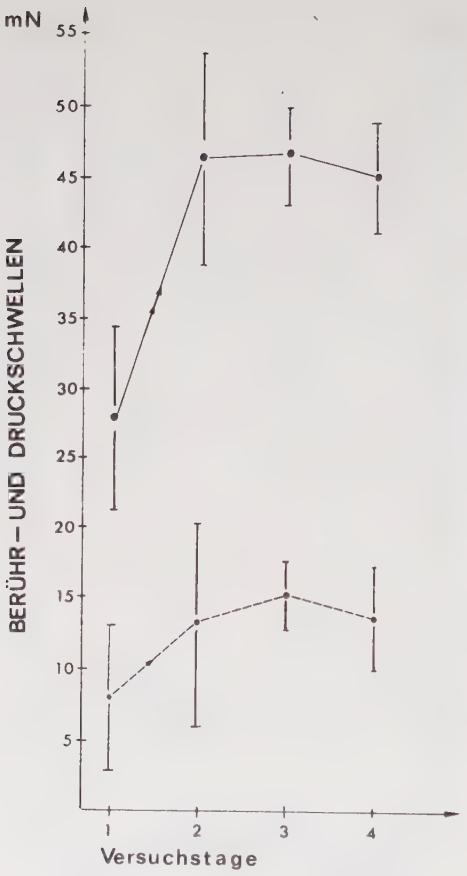


Abb. 8e: Verhalten der unbeeinflußten Taktilitätsschwellen an 4 verschiedenen Meßtagen bei Proband F, Zahn 11.

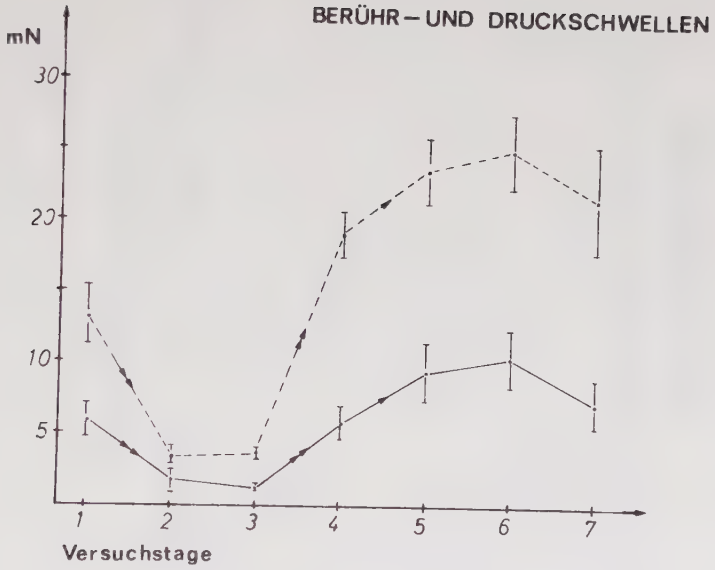


Abb. 8f: Verhalten der unbeeinflußten Taktilitätsschwellen an 7 verschiedenen Meßtagen bei Proband G, Zahn 11.

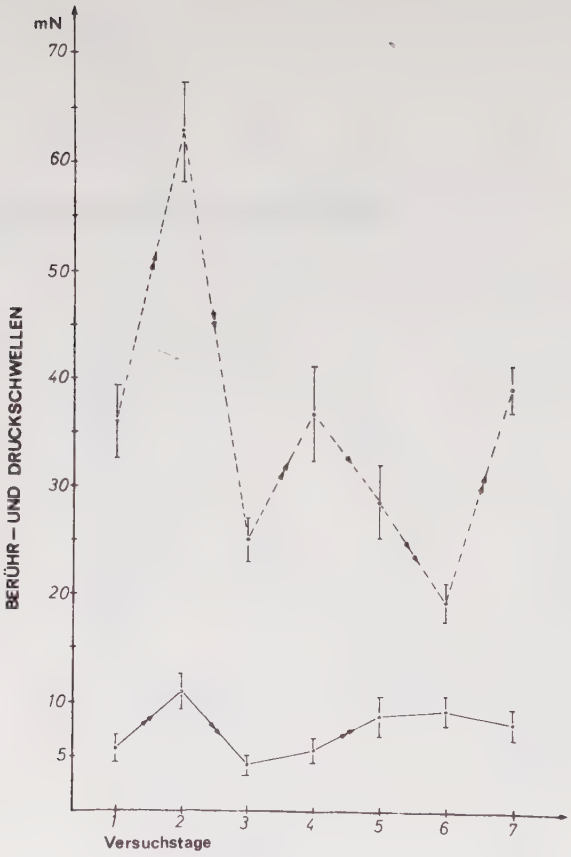


Abb. 8g: Verhalten der unbeeinflußten Taktilitätsschwellen an 7 verschiedenen Meßtagen bei Proband H, Zahn 11.

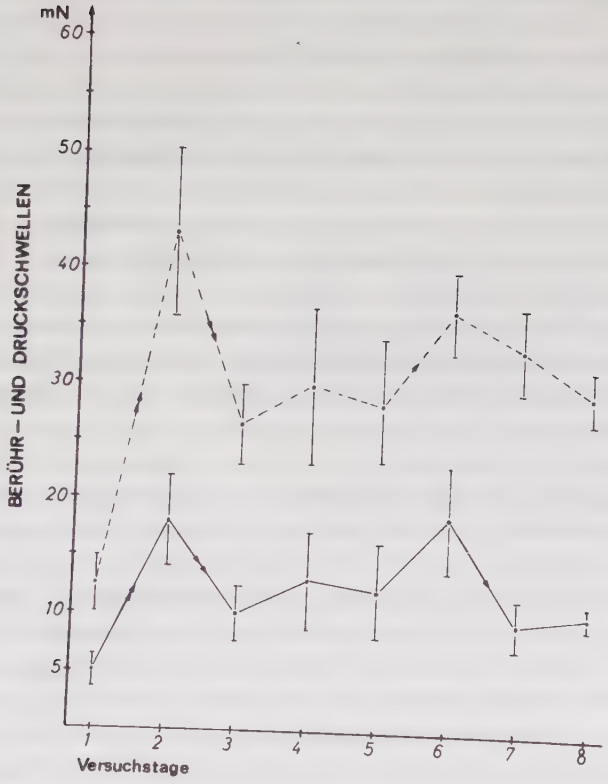


Abb. 8h: Verhalten der unbeeinflußten Taktilitätsschwellen an 8 verschiedenen Meßtagen bei Proband I, Zahn 11.

V. DISKUSSION

Die Tastsensibilität der Zähne ist, wie ACKERMANN (1) festgestellt hat, keine konstante sinnesphysiologische Größe, sondern unterliegt starken Schwankungen.

Diese Beobachtung können wir bestätigen.

So wurden die an verschiedenen Meßtagen durchgeführten Bestimmungen der unbeeinflußten Taktilitätsschwellen miteinander verglichen und statistisch auf signifikante Unterschiede geprüft. Die Ergebnisse werden auf S. 51 ff. beschrieben und in den Abb. 8a-h auf S. 55 ff. graphisch dargestellt.

Es fällt auf, daß insbesondere die Druckschwellen von dieser großen Schwankungsbreite betroffen sind. Auf eine Phase verminderter Mechanoperzeption folgt wiederum eine verstärkte Sensibilität.

Diese wechselnde Sensitivität kann mit sich ändernden psychischen Faktoren korreliert sein und von der allgemein-seelischen Verfassung abhängen, in der sich der Proband zum Zeitpunkt der Tastschwellenmessungen befindet: Konzentrationskraft, Bereitschaft zur Mitarbeit, Aufmerksamkeit wie auch umgekehrt Abgespanntheit, Ermüdungszustände beeinflussen zweifelslos auf positive wie auf negative Weise die Fähigkeit, kleinste, im Schwellenbereich der Wahrnehmungsfähigkeit liegende Sinnesempfindungen zu erkennen und zu beurteilen.

Ob die bei den Probanden A, C, H und I beobachtete Periodizität in Form einer Zu- und Abnahme des Druckschwellenniveaus auf einer allgemeinen Biorhythmizität des dentalen Sensoriums beruht, kann an Hand des vorliegenden Datenmaterials nicht beantwortet werden, da die Meßtage nicht in konstanten Abständen aufeinanderfolgten (s. hierzu die Abb. 8a, b, g, h auf S. 56 ff.).

Dies wäre aber notwendig, um Aufschluß zu erhalten über die zeitliche Verlaufsform.

Entsprechend der von GREEN und SWETS begründeten Signalerkennungstheorie (13) muß allerdings auch die Möglichkeit in Betracht gezogen werden, daß die Beurteilungskriterien für die Festlegung der Sinnesempfindung als Schwellengröße nicht konstant sind, sodaß die Variabilität des Schwellenniveaus u.U. auch auf derartigen bei ein und demselben Probanden sich von Meßtag zu Meßtag ändernden Beurteilungskriterien beruhen könnten.

Um diesen Unsicherheitsfaktor bei den Untersuchungen so klein wie möglich zu halten, haben wir vor Beginn jeder Versuchsserie zunächst Probemessungen durchgeführt, damit der Proband sich wieder mit den Sinnesgrößen vertraut machen konnte. Dies steht in Einklang mit den Beobachtungen von JENZ (23), der bei seinen Untersuchungen einen Lerneffekt nachweisen konnte, der sich darin äußert, daß die Tastschwellen nach ungefähr 10 Messungen eine im Vergleich sehr viel größere Konstanz sowohl hinsichtlich ihrer Höhe als auch der Schwankungsbreite zeigen.

Die Variabilität des Tastschwellenniveaus kann jedoch auch auf lokalen, die Erregbarkeit der parodontalen Mechanorezeptoren beeinflussenden Faktoren beruhen.

Hier wäre in erster Linie an den Grad der Durchblutung des Parodontiums bzw. an den Füllungszustand der desmondontalen Gefäße zu denken, die - wie auf S. 6 aufgeführt wird, teilweise in enger Nachbarschaft zu den Mechanorezeptoren liegen.

Um diesen möglichen Zusammenhang zwischen Füllungszustand der Gefäße einerseits und Kraftwahrnehmungsvermögen andererseits zu untersuchen, haben wir bei 9 Probanden vasoaktive Substanzen - Adrenalin, Octapressin, POR-8 - in die Umschlagfalte in einer Menge von jeweils 1,5 ml injiziert und nach einer Wartezeit von mindestens 5 Minuten die Taktilitätsschwellen über einen Zeitraum von ungefähr 20 Minuten in etwa 1-minütigem Abstand bestimmt.

Bevor wir uns jedoch den Ergebnissen dieser Untersuchungen zuwenden, muß zunächst die Frage diskutiert werden, ob die o.g. Pharmaka bei der von uns verwendeten Menge in ausreichender Konzentration an die parodontalen Gefäße diffundieren und dort ihre vasokonstriktive Wirkung entfalten konnten.

Hier wäre an ein quantitativ-meßtechnisches Kontrollverfahren zu denken. Jedoch haben wir bei den vorliegenden Untersuchungen darauf verzichtet, weil in der Literatur keine exakten Meßmethodiken zur Bestimmung der parodontalen Durchblutungsrate, bzw. Techniken zur Ermittlung des Füllungszustandes der Gefäße innerhalb des Desmodontalraumes angegeben werden.

So liefert die kapillar-mikroskopische Beobachtung der Gefäßschlingen im Bereich des Gingivalsaumes bzw. Papillarkörpers keine genauen Hinweise über die Gefäßsituation im Desmodontalraum, da die Gingivalregion nicht nur über den desmodontalen Versorgungsweg erreicht wird, sondern auch über den alveolären (s. S. 3). Hier sei auch an die Untersuchungen von FRÖHLICH erinnert, der ein parodontales und ein gingivales Endstrombahngebiet unterscheidet (10).

Auch die parodontale Plethysmographie, die im wesentlichen von HOFMANN (19) und KÖRBER (26) entwickelt wurde, kann keine exakten Angaben zu dieser Fragestellung liefern, obwohl sie u.E. am ehesten die Möglichkeit bietet, Aussagen über den im Desmodontalraum herrschenden Binnendruck zu machen.

Als Parameter könnte dabei die Größe der Pulsamplitude des in vestibulo-oraler Richtung pulssynchron oszillierenden Zahnes dienen (s. hierzu S. 5).

Da wir uns aber bei der Konzipierung des experimentellen Vorgehens auf die praktisch-klinische Erfahrung stützen dürfen, und sowohl die Menge wie auch die Konzentration verwendet haben, wie sie allgemein gebräuchlich sind bei der Durchführung kleinerer

oralchirurgischer Eingriffe, dürfen wir bei den vorliegenden Untersuchungen voraussetzen, daß eine vasokonstrikorisch bedingte Minderdurchblutung im Bereich des Injektionsortes wie auch im Bereich des Parodontiums eingetreten ist. Allerdings können wir keine Angaben über Grad und Dauer dieser Hypämie machen.

Wir verweisen in diesem Zusammenhang auf die Untersuchungen von LINDORF(29), der mit Hilfe der Infrarotthermographie festgestellt hat, daß bei einer Injektion von 1 ml POR-8 (0,2 IE/ml), bzw. 1 ml Adrenalin (1:100 000) in die Umschlagfalte von Zahn 13 eine Vasokonstriktion eintritt, die weite Teile der Wange, sowie der rechten Oberlippe umfaßt (s. S. 10f).

Die Latenzzeit bis zum Wirkungseintritt wird bei Adrenalin mit 3 Minuten angegeben, bei Octapressin bzw. POR-8 ist sie etwas verlängert (29).

Wir haben diesem Sachverhalt Rechnung getragen und mindestens 5 Minuten nach erfolgter Injektion bis zum Beginn der Messungen abgewartet.

Dies entspricht auch den Richtlinien für die Injektionstechnik bei der terminalen Anästhesie.

Auch wurden die Messungen vor der nach Abklingen der Vasokonstriktion eintretenden reaktiven Hyperämie abgeschlossen. Dies muß insbesondere bei Adrenalin berücksichtigt werden, während dies bei Octapressin bzw. POR-8 nicht zu geschehen hat (s. S. 9).

Das Verhalten der Taktilitätsschwellen unter der Einwirkung von Vasokonstringentien auf das parodontale Gefäßsystem wird Auf S. 26 ff. beschrieben. Die graphische Darstellung dieser Untersuchungsergebnisse findet sich in den Abb. 6a-g auf S. 37ff.

Da es jedoch aufgrund des Umfangs des vorliegenden Datenmaterials nicht möglich ist, differenzierte Aussagen über die Wertigkeit der einzelnen Vasokonstriktoren hinsichtlich ihrer Einflußstärke auf das dentale Sensibilitätsverhalten zu machen, haben wir zur Erhöhung der Aussagekraft die Einzelergebnisse zusammengefaßt. Dies ist in Tab. 4 auf S.32 geschehen.

Aus ihr geht hervor, daß in 81% der Meßreihen Erhöhungen der Berührschwelle eintreten, davon sind 42,8% signifikanter Natur. Bei der Druckschwelle ist die prozentuale Häufigkeit an Erhöhungen noch größer: Sie beträgt hier 85,8%, davon sind 62% signifikanter bzw. hochsignifikanter Natur.

Somit kann festgestellt werden, daß ein eindeutiger Trend zur Schwellenerhöhung unter der Einwirkung vasokonstriktorisch wirksamer Pharmaka besteht.

Eine Schwellenerhöhung ist ein Ausdruck für eine nachlassende Wahrnehmungsfähigkeit von im Schwellenbereich liegenden Käften, die in axialer Richtung auf den Zahn einwirken. (Definition der Berühr- und Druckschwelle s. S. 20).

Dagegen ist der Anteil an Schwellenerniedrigungen sehr viel geringer, die zudem noch in keinem Fall das Signifikanz-Niveau erreichen: Bei den Berührschwellen sind es 19%, bei den Druckschwellen lediglich 14,2%.

Eine Minderdurchblutung hat entsprechend den Angaben von K.H. KÖRBER eine Änderung der biophysikalischen Eigenschaften des Parodontiums zur Folge, die sich in Form einer Verringerung der hydrostatischen Dämpfung und einer verstärkten Oszillationsfähigkeit des Zahnes in seinem Zahnfach äußert (s. S. 4).

Möglicherweise ist die in Anwesenheit von Vasokonstringentien beobachtete Tendenz zur Schwellenerhöhung auf einen durch eine derartige partielle Minderdurchblutung bedingten nachlassenden Turgordruck im Desmodont zurückzuführen.

In diesem Fall wäre denkbar, daß eine verstärkte Intrusion erforderlich ist, um wieder den für die Erregung der parodontalen Pressosensoren notwendigen desmodontalen Binnendruck zu erreichen.

Die vermehrte Intrusion ist jedoch nur durch eine Verstärkung der von außen auf den Zahn einwirkenden Kraft möglich, die sich meßtechnisch in Form einer Erhöhung der Taktilitätsschwellen bemerkbar macht.

Entsprechend den Angaben von HOFMANN (20) handelt es sich bei der parodontalen Pulskurve um einen zentralen, d.h. arteriellen Volumenpuls bzw. Spannungspuls. Dies bedeutet, daß die Bewegung des Zahnes die pulssynchronen Druckschwankungen wiedergibt, die im Desmodontalraum auf Grund dieser Charakteristik herrschen, d.h. u.a. mit einem systolischen Spitzen- sowie einem diastolischen Basiswert.

Die Pulssynchronizität einzelner spontanaktiver Pressosensoren, wie sie von HANNAM (16) beschrieben werden, weist möglicherweise darauf hin, daß deren Erregungsschwelle innerhalb dieser arteriellen Druckschwankungsbreite liegt und sie auch aus diesem Grund bei jedem Pulsschlag zur Impulsabgabe angeregt werden.

Andere Sensoren, die im unbelasteten Zustand inaktiv sind und erst bei einer Belastung und mithin Intrusion Impulse abgeben, werden auf Grund dieser Überlegungen möglicherweise eine Erregungsschwelle haben, die oberhalb dieses durch den Pulsschlag erzeugten oszillierenden desmodontalen Binnendrucks liegt.

Hier nun fügen sich die Untersuchungen über die Wirkung der Wärmedurchflutung des Parodontiums mit Hilfe von Mikrowellen in die Diskussion ein.

Die dabei auftretende reaktive Hyperämie - die allgemeinmedizinisch auf vielfältige Weise zu therapeutischen Zwecken ge-

nutzt wird - hat physiologisch gesehen zum Ziel, durch eine vermehrte Durchblutung und Vasodilatation den lokalen Wärmestau zu verringern bzw. auf ein größeres Gebiet zu verteilen, um die Gefahr einer thermischen Gewebsschädigung zu verhindern bzw. zu verringern.

Wie aus den Ergebnissen auf S. 33 ff., sowie aus der Tab. 5 auf S. 34 zu entnehmen ist, führt die Mikrowellenbestrahlung über 15 Minuten bei 10W zu einer deutlichen Erniedrigung der Schwellen. Diese Wirkung tritt vor allem bei der Druckschwelle in Erscheinung: Bei 4 von 7 Meßreihen ist die Erniedrigung hochsignifikant, entsprechend 57,1%. Bei der Berührschwelle wird jedoch nur in einem Fall eine signifikante Erniedrigung beobachtet, entsprechend 14,3%. Bei allen übrigen Meßserien liegen die Erhöhungen bzw. Erniedrigungen der Taktilitätsschwellen unterhalb des Signifikanzniveaus (s. Tab. 9 auf S. 50).

Somit wirkt sich die Wärmedurchflutung in differenzierter Weise auf die Tastsensibilität der Zähne aus: Während das Niveau der Berührschwellen weithin unbeeinflußt bleibt, wird eine deutliche Absenkung der Druckschwelle beobachtet.

Diese deutliche Einflußnahme der thermisch bedingten Hyperämie auf die Tastsensibilität wird aus dem Vorhergehenden verständlich: Infolge der verstärkten Vasodilatation und Mehrdurchblutung wird der desmodontale Binnendruck erhöht, sodaß es nur noch einer geringfügigen Mehrbelastung und Druckerhöhung durch die Technik der Schwellenmessung bedarf, um die Empfindungsschwellen zu erreichen.

Hier nun taucht die Frage nach dem Modus der Erregung der parodontalen Pressosensoren auf, die wir jedoch nur in theoretischer und unvollständiger Weise diskutieren können: Erfolgt die Erregung der Sensoren prinzipiell über den pulssynchron oszillierenden desmodontalen Binnendruck bzw. über die Pulswellen im arteriellen Schenkel des desmodontalen Gefäßsystems? Oder sind auch andere Erregungsmodi vorstellbar, die auf eine funktionelle

Trennung der parodontalen Mechanoperzeption von der pulssynchronen Oszillation des desmodontalen Binnendrucks hinweisen könnten?

So ist auffallend, daß weder JENZ (23) noch HERHOLZ (17) noch ACKERMANN (1), die mit dem gleichen meßtechnischen Verfahren die Tastsensibilität der Zähne untersucht haben, bei der Messung der Taktilitätsschwellen über das Auftreten von Pulsationsempfindungen berichten.

Dies wäre aber nach der oben entwickelten Modellvorstellung über die Wechselwirkung von desmodontalem Binnendruck und Erregbarkeit der desmodontalen Sensoren durchaus zu erwarten. Auch wir konnten bei unseren Untersuchungen derartige pulsierende Berühr- bzw. Druckschwellenempfindungen nicht beobachten. Wir dürfen daraus die Annahme ableiten, daß die Erregung der parodontalen Sensoren offensichtlich in Zonen des des Parodontiums erfolgt, wo die Mikropulsation keine Oszillation des desmodontalen Binnendruckes zur Folge hat.

Wie KÖRBER (26) und HOFMANN (19) auf Grund ihrer plethysmographischen Untersuchungen festgestellt haben, treten die Pulsationen bei den Oberkieferschneidezähnen hauptsächlich in oro-vestibulärer Richtung auf, nicht aber bzw. nur in verschwindend kleinem Ausmaß in axialer Richtung.

Somit ist eine axiale Kraftwahrnehmung der Zähne ohne Interferenzen seitens der Pulsationen der Gefäße weitestgehend gewährleistet und damit auch eine kontinuierliche Kraftwahrnehmung.

Die Pulsationen könnten jedoch bei einer transversalen Tastschwellenmessung in Erscheinung treten, genauso wie im Fall einer verstärkten Oszillation des Zahnes in axialer Richtung. Einzelne Hinweise von Probanden bei den Messungen mit der thermisch bedingten Hyperämie weisen auf derartige mögliche Zusammenhänge hin.

Bei der Diskussion der vasokonstriktorisch bedingten Desensibilisierung müssen auch die Untersuchungen von OLGART erwähnt werden (s.S. 11). Eine direkte Anwendung bzw. Übertragung seiner Beobachtungen zum Zwecke der besseren Interpretation der vorliegenden Ergebnisse ist u.E. nicht möglich, da dieser die Erregbarkeit nervöser Strukturen nicht im Bereich des Parodontiums untersucht hat, wie in unserem Fall, sondern innerhalb der Pulpa.

Trotzdem sind sie auch für uns von Interesse, weil das Erlöschen der nervösen Erregbarkeit direkt in Verbindung gebracht wird mit dem Sistieren der Durchblutung. Dies allerdings nur unter der Einwirkung von Adrenalin, nicht aber in Gegenwart von Octapressin. OLGART erklärt dies mit dem unterschiedlichen Angriffspunkt der beiden Pharmaka am Gefäßsystem: Der vasokonstriktorische Effekt von Adrenalin trifft die Rezeptoren der Resistenz- und der Kapazitätsgefäße, während das Octapressin sich in erster Linie auf die Kapazitätsgefäße der terminalen Strombahn richtet (35, 36).

Um nachzuprüfen, ob andere Faktoren ebenfalls die Untersuchungsergebnisse beeinflussen könnten, sind wir der Frage nachgegangen, inwieweit das Meßgeschehen an sich eine Rolle spielt. Hierzu wurde im Parallelversuch in Form von Leerwertmessungen der Meßvorgang sowohl hinsichtlich seines zeitlichen Ablaufs als auch nach der Anzahl der Einzelmessungen simuliert, allerdings ohne Injektion vasoaktiver bzw. vasoinerter Substanzen (s.S. 23).

Die Ergebnisse dieser Untersuchungen sind in den Tab. 8a und 8b auf S. 46ff aufgeführt und in der Abb. 7 auf S. 49 graphisch dargestellt.

Die Auswertung ergibt, daß die Erhöhung bei den Berührschwellen in 27,3% der Meßserien das Signifikanzniveau erreicht, bei den Druckschwellen in 18,2%. Dagegen ist der Anteil nichtsignifikanter Schwellenerhöhungen mit jeweils 54,5% recht hoch (s. Tab. 9, S. 50).

JENZ (23) beobachtet bei wiederholten, kurz aufeinander folgenden Schwellenmessungen gegen Ende einer Meßserie Ermüdungserscheinungen, die sich seinen Angaben zufolge in Form einer Vergrößerung der Streuung bzw. einer Erhöhung der Schwelle bemerkbar machen.

Da es sich bei den Meßgrößen um Sinnesempfindungen handelt, die im Grenzbereich der Wahrnehmungsfähigkeit liegen und für deren sichere Beurteilung und Bewertung ein hohes Maß an Konzentrationskraft seitens der Probanden verlangt wird, ist nicht auszuschließen, daß im Verlauf der Messungen, insbesondere aber in der zweiten Versuchshälfte, die Konzentration nachläßt und Ermüdungserscheinungen am Ende einer Meßreihe zum Tragen kommen.

Es kann daher auf Grund der vorliegenden Untersuchungsergebnisse nicht ausgeschlossen werden, daß psychologische Momente, wenn auch mehr auf unterschwellige Weise, Einfluß nehmen auf die Sicherheit der Beurteilung der Sinnesgrößen.

Andererseits könnte auch das Intrusionsverhalten des Zahnes durch die Krafteinwirkung zur Bestimmung der Empfindungsschwellen zum Tragen kommen.

So hat YAMADA (53) festgestellt, daß die Ansprechschwelle nach einem Intrusionsweg von 2-3 µm erreicht wird. Die Frage bleibt offen, ob nach Absetzen der Kraft der Zahn in der ihm zur Verfügung stehenden Zeit bis zur nächsten Schwellenmessung in seine Ausgangsposition zurückzukehren vermag. Wenn nicht, könnte durchaus eine veränderte Position des Zahnes in seinem Zahnfach von vornherein die Mechanoperzeption beeinflussen und Adaptationsprozesse in den desmodontalen Mechanorezeptoren zur Wirkung bringen.

So haben HOFMANN (19), KÖRBER (26) und in jüngster Zeit SCHOLZ (40) die Rückstellbewegung des Zahnes nach Belastung

untersucht: Auf eine schnelle, beinahe exponentiell verlaufende Anfangsbewegung folgt eine immer langsamer werdende Rückstellphase.

Entsprechend den Angaben von HOFMANN (19) wird der Zahn im letzten Teil der Rückstellung hauptsächlich durch die Pulsationen der parodontalen Gefäße in seine Ausgangslage zurückgepumpt, als Folge der Wiederauffüllung der zuvor komprimierten Gefäße.

Da die Empfindungsschwellen innerhalb dieses Intrusionsbereiches liegen, vollzieht sich die Rückstellbewegung nach Wegnahme der Kraft zur Bestimmung der Empfindungsschwellen vermutlich sehr langsam.

Die durchschnittliche Dauer von 1 Minute zwischen den einzelnen Tastschwellenmessungen bei unseren Messungen könnte möglicherweise auf Grund dieser theoretischen Erörterungen zu kurz sein. Bei Nachfolgeuntersuchungen sollte diesem Gesichtspunkt Rechnung getragen werden.
In einer weiteren Versuchsreihe wurde die Frage untersucht, ob vasoinerte Substanzen eine schwellenbeeinflussende Wirkung haben.

Die Ergebnisse dieser Untersuchungen finden sich auf S. 44f. (s. hierzu auch die Graphiken Abb. 6a-g auf S. 37ff.).

Die Auswertung ergibt, daß bei den Berührschwellen in 50% der Versuchsreihen hochsignifikante Erhöhungen eintreten. Bei den Druckschwellen ist dies bei 2 Meßserien der Fall, entsprechend einem Prozentsatz von 33,3% (s. Tab. 9 auf S. 50).

Dieses außerordentlich überraschende Ergebnis könnte mit einem Placebo-Effekt erklärt werden.

Andererseits muß hier auf die jüngsten Untersuchungen von ACKERMANN (1) hingewiesen werden, der festgestellt hat, daß die Wahrnehmungsfähigkeit von Berühr- und Druckkräften, die

im Schwellenbereich liegen, bei gleichzeitiger Belastung des Nachbarzahnes mit einer während der Schwellenbestimmung konstant gehaltenen Kraft schwächer wird, was mit einer Anhebung der Taktilitätsschwellen einhergeht.

Die neurophysiologischen Grundlagen für dieses Phänomen sind weithin ungeklärt, jedoch verweist er auf das in der allgemeinen Sinnesphysiologie bekannte Prinzip der lateralen Hemmung: Ein starker Reiz schwächt infolge der kompetitiven Hemmung den schwächeren noch weiter ab.

Seit den Untersuchungen von JERGE (24) ist bekannt, daß zumindest bei der Katze einzelne Neurone des N. trigeminus nicht nur einen Zahn, sondern darüberhinaus noch die angrenzende Gingiva sensibel innervieren.

Somit sind die Voraussetzungen für eine Interferenz der Sensorik von Zahn und Gingiva gegeben. Dies bedeutet, daß die Erkennung der taktilen Schwellen offensichtlich nach erfolgter Injektion der Kochsalzlösung infolge der fortdauernden Druckempfindung am Injektionsort erschwert wird, d.h. die Empfindung der Berühr- und Druckkräfte am Zahn könnte vom Gewebedruck der applizierten Kochsalzlösung überlagert werden. Damit nun diese erkenn- bzw. unterscheidbar gegenüber dem Injektionsdruck werden, müssen sie verstärkt werden, was mit einer Anhebung der Empfindungsschwellen verbunden ist.

Es kann daher nicht ausgeschlossen werden, daß zumindest zu Beginn der Schwellenmessungen derartige sensible Interferenzeffekte auftreten, die so lange andauern, bis die Lösungen mit den vasoaktiven Substanzen sich gleichmäßig im Interstitium verteilt haben und keinen Injektionsdruck mehr ausüben.

Allerdings fällt auf, daß von dieser interferenzbedingten signifikanten Erhöhung hauptsächlich die Berührschwellen betroffen sind mit 50%, während die durch Vasokonstriktion herbeigeführte signifikante Erhöhung sich mit 62% im wesentlichen auf die Druckschwellen auswirken (s. Tab. 4 und 9).

Der verbreiteten Auffassung folgend, Nikotin verenge die Blutgefäße, wendeten wir es ebenfalls bei unseren Versuchen an. Bezüglich des Schwellenverhaltens zeigt sich jedoch kein eindeutiger Trend: In 5 von 6 Meßserien (83,4%) ergaben sich keine signifikanten Veränderungen der Berührschwelle. Bei den Druckschwellen war dies in 4 von 6 Versuchen (66,7%) der Fall (s. Tab. 6 auf S. 36 und Abb. 6 auf S. 37 ff.).

Abgesehen von der direkten Folgerung, Nikotin beeinflusse die taktile Sensiblität gemäß vorliegenden Daten nicht, kommt als mögliche Deutung dieses Ergebnisses in Betracht, daß eine individuell unterschiedlich ausgeprägte Affinität bzw. Toleranz eine Rolle spielt.

Für den Versuch stellten sich starke Raucher, Gelegenheitsraucher und Nichtraucher zur Verfügung. Sowohl bei starken Rauchern (Beispiel: Proband A), als auch bei Nichtrauchern (Beispiel: Proband G) sind die Schwellenerhöhungen bzw. -erniedrigungen nichtsignifikanter Natur.

Obwohl in der Literatur auf die vasokonstriktorische Wirkung des Nikotins hingewiesen wird (s. S.12f) ist die Schwellenentwicklung der Tastsensibilität entsprechend dem vorliegenden Datenmaterial insgesamt als uneinheitlich zu bezeichnen. Möglicherweise treten die nikotininduzierten Kreislaufeffekte bei der von uns angewandten Konzentration nicht auf experimentell nachweisbarem Niveau in Erscheinung. Da unter Nikotineinwirkung sowohl vasokonstriktorische, als auch vasodilatatorische Gefäßreaktionen beschrieben werden, könnte dies ebenfalls mitverantwortlich sein für die wenig aussagekräftigen Ergebnisse. Hier sind zweifellos weiterführende Untersuchungen erforderlich.

VI. ZUSAMMENFASSUNG

Die vorliegende Arbeit stellt einen Beitrag zur Sinnesphysiologie des Parodontiums dar. Sie soll aufbauend auf in Tierversuchen gewonnenen Erkenntnissen histologischer und neurophysiologischer Art dazu beitragen, Aufschluß über die Zusammenhänge von parodontaler Durchblutung und desmodontaler Rezeptorfunktion zu erlangen.

Wir untersuchten, ob Veränderungen der Durchblutung, die wir herbeiführten, aber nicht quantifizierten, eine merkliche Veränderung der taktilen Schwelle zur Folge haben würden.

An 9 männlichen Probanden zwischen 23 und 34 Jahren wurden in 52 Sitzungen taktile Schwellen oberer Frontzähne gemessen. Die Sitzungen waren nach Länge und Versuchsatmosphäre ähnlich. Sie unterschieden sich lediglich durch die Tatsache oder Art einer Durchblutungsmanipulation.

Wir benutzten für die Messungen den "federgefesselten Drehschwinger". Dieses Gerät erlaubt es, den Kraftfühler prellfrei auf den Zahn zu setzen und Bewegungen desselben auszugleichen. Die ausgeübte Kraft wurde über piezo-resistive Halbleiterelemente in elektrische Impulse transformiert und aufgezeichnet.

Der mögliche technische Fehler der Versuchsanordnung war im Vergleich zum subjektiven Fehler, der vom Probanden ausgeht und nicht kontrollierbar ist, vernachlässigbar klein. Insofern hat der Drehschwinger die an ihn gestellten Anforderungen erfüllt.

Wir bestätigen die Beobachtung anderer Autoren, wonach sich die Berührschwelle als sensorisches Intervall darstellt, das vom ersten Auftreten unspezifischer Empfindungen der Berührschwelle bis zu einem ersten deutlichen Druckgefühl der Druckschwelle reicht. Diese beiden Empfindungsstufen

wurden jeweils nacheinander registriert.

Unserer anfänglichen Vermutung entsprechend lassen sich die Schwellenniveaus eines Probanden an verschiedenen Tagen ebensowenig vergleichen wie diejenigen von verschiedenen Probanden. Es bewährte sich unser Konzept, für jeden Versuchstag die Basisschwelle gesondert zu bestimmen.

Unter unseren drei Methoden der Durchblutungsveränderung, Injektion von Vasokonstringentien, Wärmebestrahlung und Nikotininhalation, ist bei den ersten beiden die gefäßaktive Wirkung erwiesen.

Nach der Injektion von Vasokonstringentien zeigte sich ein Trend zur Schwellenerhöhung. Die Beobachtung desselben Effektes auf Placeboinjektion mit physiologischer Kochsalzlösung veranlaßt uns jedoch, hierin neben einer möglichen Reaktion auf Blutleere eine Sensationsinterferenz mit dem Injektionsnachschmerz und dem erhöhten Gewebedruck zu sehen.

Die Nikotininhalation hatte keinen nachweisbaren Einfluß auf die taktile Schwelle. Wir schließen daraus nicht auf eine durchblutungsunabhängige Rezeptorfunktion, sondern bezweifeln, daß die Droge in der Mundhöhle in der verwendeten Dosierung wirkt.

Durchblutungserhöhung mittels Mikrowellenbestrahlung führte zu Schwellenerniedrigung und damit Zunahme der taktilen Sensibilität.

Diese Beobachtung stützt Feststellungen der Autoren HANNAM, GRIFFIN und JENZ (16, 15, 23) bezüglich der Korrelation von Gefäßen und Rezeptoren des Parodontiums.

Die Auswirkungen der Durchblutungsbeeinflussungen (Injektion, Inhalation vasoaktiver Pharmaka, hyperämisierende Bestrahlung) auf die taktilen Schwellen werden abgegrenzt ge-

gen andere schwellenbeeinflussende Faktoren (Lern-, Wiederholungseffekt, Überlagerung mit Injektionsdruck).

Mögliche physiologische Wirkungsmechanismen der Schwellenveränderungen werden diskutiert.

VII LITERATURVERZEICHNIS

1. Ackermann, F.: Das Interferenzverhalten der Taktilität oberer Incisivi - zugleich ein Beitrag zur Neurophysiologie des parodontalen Sensoriums. Med. Diss. Tübingen 1983.

2. Adler, P.: Sensibility of teeth to loads applied in different directions. J. dent. Res. 26 (1947), 279-289.

3. Agué, C.: Cardiovaskular variables, skin conductance and time estimation: Changes after the administration of small doses of nicotine. Psychopharmacologica (Berl.) 37 (1974), 109 - 125.

4. Altura, B. M., Hershey, S. G.: Effects of synthetic analogue of vasopressin on vascular smooth muscle. Proc. Soc. Exp. Biol. Med. 119 (1965), 258 - 261.

5. Boissonnas, R. A. et Guttmann, S. T.: Synthèse d'analogues de l'oxytocine et de la lysin-vasopressin contenant de la phénylalanine ou de la tyrosine en positions 2 et 3. Helv. Chim. Acta 43 (1960), 190 - 200.

6. Braun, H.: Über einige neue örtliche Anästhetika. Dtsch. Med. Schr. 31 (1905), 1667.

7. Cerletti, A., Weber, H.: Zur Wirkung von Phenylalanin^2-lysin-Vasopression (Octapressin) auf den arteriellen und venösen Anteil eines peripheren Gefäßgebietes. Helv. Physiol. Acta 21 (1963) 394 - 401.

8. Coffman, J. D., Javet, S. L.: Blood in the human calf during tobacco smoking.
Circulation 28 (1963), 932 - 934.

9. Edwall, L., Scott, D.: Influence of changes in microcirculation on the excitability of the sensory unit in the tooth of the cat. Acta physiol. Scand 82 (1971), 555 - 566.

10. Fröhlich, E.: Die Bedeutung der peripheren Durchblutung des Parodontiums für die Entstehung und Therapie der Zahnbetterkrankungen. Dtsch. zahnärztl. Z. 19 (1964), 156 - 165.

11. Furey, S. A., Schaaning, I.: The comparative effects on circulation of smoking tobacco and lettuce leaf cigarettes. Angiology 18 (1967), 218 - 223.

12. Gneupel, J.: Die Empfindlichkeit der Zähne gegenüber Druck. Med. Diss. Berlin 1951.

13. Green, D. M. and Swets, J. A.: Signal detection theory and psychophysics. John Wiley & Sons, Inc., New York - Sydney - London, 1966, pp. 117 - 118.

14. Greitemeyer, M.: Rauchen als riskantes Gesundheitsverhalten. Medwelt 34 (1983), 713 - 716.

15. Griffin, C. J. and Spain, H.: Organization and vasculature of human periodontal ligament mechanoreceptors. Arch. Oral. Biol. 17 (1972), 913 - 917.

16. Hannam, A. G.: Spontaneous activity in dental mechanosensitive units in the dog. Arch. Oral. Biol. 14 (1969), 793 - 801.

17. Herholz, T.: Die taktile Sensibilität bei marktoten und wurzelspitzenamputierten oberen Frontzähnen. Med. Diss. Tübingen 1978.

18. Hines, E. R. and Gifford, R. W.: Medical management of peripheral ischaemic diseases. Amer. J. Med. 23 (1957), 724.

19. Hofmann, M. und Diemer, R.: Die Pulsation des Zahnes. Dtsch. zahnärztl. Z. 18 (1963), 1268 - 1274.

20. Hofmann, M.: Zur Oszillographie des Gingivalpulses. Dtsch. zahnärztl. Z. 19 (1964), 765 - 768.

21. Hofmann, M. und Diemer, R.: Die physiologische Zahnbewegung. Dtsch. zahnärztl. Z. 21 (1966), 707 - 718.

22. Hollstein, W.: Untersuchungen über das Dickenunterscheidungsvermögen. Dtsch. Mschr. Zahnheilk. 51 (1933), 385 - 403.

23. Jenz, K. P.: Die Berührschwelle menschlicher Zähne. Eine neurophysiologische Untersuchung zur Funktion parodontaler Pressosensoren. Med. Diss. Tübingen 1976.

24. Jerge, C. R.: Organization and function of the trigeminal mesencephalic nucleus. J. Neurophysiol. 26 (1963), 379 - 392.

25. Jerge, C. R.: The function of the nucleus supratrigeminalis. J. Neurophysiol. 26 (1963), 393 - 402.

26. Körber, K. H.: Untersuchungen zur Biophysik des Parodontiums. Dtsch. zahnärztl. Z. 17 (1962), 1585 - 1595.

27. Körber, K. H.: Untersuchungen zur Physiologie des parodontalen Gefäßsystems. Dtsch. zahnärztl. Z. 18 (1963), 1097.

28. Kraft, E.: Raum- und Ordnungsgefühl und Tastsinn in der Mundhöhle. Dtsch. zahnärztl. Z. 16 (1962), 365 - 369.

29. Lindorf, H. H.: Experimentelle Untersuchung der vaskulären Wirkung von Adrenalin- und POR-8-Infiltrationen im Kieferbereich. Schweiz. Mschr. Zahnheilk. 25 (1975), 536 - 547.

30. Löwenstein, W. R. and Rathkamp, R.: A study on the pressoreceptive sensibility of the tooth. J. dent. Res. 34 (1955), 287 - 294.

31. Martz, R. C. and Youkilis, E. J.: Effects of nicotine on the subcutaneous microcirculation of the bat. Proc. Soc. Exp. Biol. Med. 133 (1970), 153 - 159.

32. Mathes et al.: Klinische Beobachtungen bei der Anwendung eines neuen Vasokonstriktors: Ornithin-Vasopressin (POR-8). Prakt. Anaesth. Wiederbel. 4 (1969), 132.

33. Mühlbradt, L.: Die Berührschwelle bei gesunden und erkrankten Parodontien. Dtsch. zahnärztl. Z. 31 (1976), 406 - 410.

34. Münch, J. und Schriever, H.: Die Zähne als Sinneswerkzeug. Z. Biol. 91 (1931), 75 - 85.

35. Nolte, H. J.: Ornithin-Vasopressin (POR-8) als Vasokonstringens in der regionalen Anaesthesie. Anaesthesist 21 (1972), 398.

36. Olgart, L.: Effects of adrenaline and felypressin on blood flow and sensory nerve activity in the tooth. Acta odont. Scand. 35 (1975), 69 - 75.

37. Roth, G. M. and Shik, R. M.: The effects of smoking on the peripheral circulation. Dis. Chest. 37 (1960), 203.

38. Rottenstein, H. and Pierce, G.: Influences of nicotine on the blood flow of resting skeletal muscle and of the digits in normal subjects. Ann. N. Y. Acad. Sci. 90 (1960), 102 - 113.

39. Schilli, W.: Gefäßverengende Zusätze bei Lokalanästhetika-Lösungen. Die Quintessenz 1976 Ref. Nr. 5539.

40. Scholz, W. F.: Die freie Rückstellbewegung von Oberkieferschneidezähnen während der ersten Millisekunden. Med. Diss. Tübingen 1980.

41. Schnell, H.: Myopathien im Kauorgan. Zahnärztl. Praxis 27 (1976), 241 - 244.

42. Schottke, J. et al.: Zur Anwendung von Ornipressin in der zahnärztlichen Lokalanästhesie. Stomatol. DDR 28 (1978), 644 - 648.

43. Scott, J. H. and Simons, N. B. B.: Introduction to dental anatomy. Seventh edition, Churchill Livingstone, Edinburgh and London 1974 pp. 259 - 272.

44. Schumacher, G. H.: Anatomie und Physiologie des Parodontiums. Dtsch. Stomat. 12 (1962), 305.

45. Shepherd, J. T.: Effect of cigarette smoking on blood flow through the hand. Brit. Med. J. 2 (1951), 1007.

46. Siirilä, H. S. and Laine, P.: The tactile sensibility of the parodontium to slight axial loadings of the teeth. Acta odont. Scand. 21 (1963), 415 - 429.

47. Skramlik, E. von: Die Zähne als Vermittler von Empfindungen. Dtsch. Stomat. 1952, 326 - 335.

48. Steenberghe, D. van: The structure and function of periodontal innervation. J. Periodontal. Res. 14 (1979), 185 - 203.

49. Theil, E.: Bis zu welchem Grade kann die Tastfähigkeit der menschlichen Zahnreihenglieder festgestellt werden? Dtsch. Mschr. Zahnheilk. 49 (1931), 270 - 278.

50. Türkheim, H.: Die Sinnesphysiologie der Mundhöhle und der Zähne. Dtsch. Zahn-, Mund- und Kieferheilk. 1921, 38 ff.

51. Wedl, C.: Über Gefäßknäuel im Zahnperiost. Virchows Arch. path. anat. 85 (1881), 175 - 177.

52. Whelan, R. F.: Alcohol, nicotine and man. Med. J. Australia (1968), 77 - 83.

53. Yamada, M. and Kumano, T.: Mobility and assessment of the tactile sensation of teeth. Int. Dent. J. 19 (1969), 295 - 296.

LEBENSLAUF

Am 17. Mai 1954 wurde ich, Richard Cremer, als drittes Kind der Eheleute Dieter und Beate Cremer, geb. Vreden, in Bonn geboren.

Von 1960 bis 1964 besuchte ich die katholische Volksschule in Bad Honnef. 1964 wechselte ich zum Städt. Siebengebirgsgymnasium, Bad Honnef, wo ich am 17.5.1972 die Reifeprüfung ablegte.

Im Wintersemester 1972/73 studierte ich an der Technischen Hochschule Darmstadt Ingenieurwissenschaft.

Zum Sommersemester 1973 wechselte ich zur Philipps-Universität nach Marburg/Lahn zum Studium der Zahnheilkunde. Hier legte ich am 8. März 1974 die naturwissenschaftliche Vorprüfung und am 18. August 1975 die zahnärztliche Vorprüfung ab.

Das 1. klinische Semester absolvierte ich im Wintersemester 1975/76 an der Medizinischen Hochschule Hannover.

Ab April 1976 setzte ich das Studium der Zahnmedizin an der Eberhard-Karls-Universität in Tübingen fort, wo ich es am 7. Juni 1978 mit der zahnärztlichen Prüfung abschloß.

Von Juli 1978 bis Mai 1979 war ich als wissenschaftlicher Mitarbeiter an der Abteilung für zahnärztliche Chirurgie und Parodontologie des Zentrums für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde der Universität Tübingen tätig.

Von Mai 1979 bis Juli 1980 leistete ich Grundwehrdienst in Borken/Westfalen.

Von August 1980 bis August 1982 war ich in Lenzerheide/Schweiz, und seit September 1982 bin ich in Pfäffingen bei Tübingen als Assistent jeweils in freier zahnärztlicher Praxis tätig.